

P19589.P04

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant :S. WAKASHIRO

Serial No. :Not Yet Assigned

Filed :Concurrently Herewith

For :IMAGE-PROCESSING COMPUTER SYSTEM FOR PHOTOGRAMMETRIC
ANALYTICAL MEASUREMENT

CLAIM OF PRIORITY

Commissioner of Patents and Trademarks
Washington, D.C. 20231

Sir:

Applicant hereby claims the right of priority granted pursuant to 35 U.S.C. 119 based upon Japanese Application No. 11-251952, filed September 6, 1999. As required by the Statute, a certified copy of the Japanese application is being submitted herewith.

Respectfully submitted,
S. WAKASHIRO

Leslie J. Paperman Reg. No. 33,329
Bruce W. Bernstein
Reg. No. 29,027

September 6, 2000
GREENBLUM & BERNSTEIN, P.L.C.
1941 Roland Clarke Place
Reston, VA 20191
(703) 716-1191



日 本 国 特 許 庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

JCS11 U.S. PTO
09/655881
09/90/60

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
る事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
this Office.

願 年 月 日
Date of Application:

1999年 9月 6日

願 番 号
Application Number:

平成11年特許願第251952号

願 人
Applicant (s):

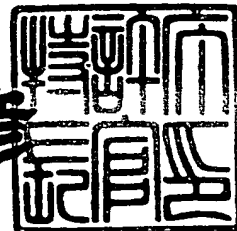
旭光学工業株式会社

CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

2000年 6月 9日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

近藤 隆彦



出証番号 出証特2000-3044138

【書類名】 特許願

【整理番号】 AP99680

【提出日】 平成11年 9月 6日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G01C 11/00
G01C 15/06

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都板橋区前野町2丁目36番9号 旭光学工業株式会社内

 【氏名】 若代 滋

【特許出願人】

 【識別番号】 000000527

 【住所又は居所】 東京都板橋区前野町2丁目36番9号

 【氏名又は名称】 旭光学工業株式会社

 【代表者】 松本 徹

【代理人】

 【識別番号】 100090169

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 松浦 孝

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 050898

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

 【包括委任状番号】 9002979

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 写真測量用画像処理装置、写真測量用画像処理方法および写真測量用画像処理プログラムを格納した記憶媒体

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 所定の寸法形状のターゲットを共通に含む複数の画像のそれぞれについて、各画像を撮影したカメラの位置およびその光軸の傾きを含むカメラパラメータを算出し、前記画像内の共通の物点を当該各画像について指定し、前記カメラパラメータを用いて前記物点の 3 次元座標を算出し、この 3 次元座標に基づいて測量図を生成する写真測量用画像処理装置であって、

前記ターゲットが、他の被写体よりも相対的に輝度の高い表面を有し同一平面上に設けられた少なくとも 3 個以上の基準点および 1 個以上の補助点を備えており、

前記画像を構成する画素の輝度情報に基づいて、高い輝度情報を有する前記基準点および前記補助点に相当する画素のグループを抽出し、各グループの重心となる画素の前記画像における写真座標を算出する写真座標算出手段と、

前記写真座標算出手段により得られた前記基準点の写真座標と、前記ターゲットの寸法形状に基づいて、前記カメラパラメータを算出するカメラパラメータ算出手段と、

前記カメラパラメータ算出手段により算出された前記カメラパラメータと、前記ターゲットの寸法形状に基づいて、前記補助点の写真座標に実質的に一致し得るスクリーン座標を算出するスクリーン座標算出手段と、

前記写真座標算出手段により得られた前記補助点の写真座標と、前記スクリーン座標算出手段により得られた前記補助点のスクリーン座標とが所定の許容誤差範囲内であるか否かを判定する判定手段と

を備えることを特徴とする写真測量用画像処理装置。

【請求項 2】 所定の寸法形状のターゲットを共通に含む複数の画像のそれぞれについて、各画像を撮影したカメラの位置およびその光軸の傾きを含むカメラパラメータを算出し、前記画像内の共通の物点を当該各画像について指定し、

前記カメラパラメータを用いて前記物点の 3 次元座標を算出し、この 3 次元座標に基づいて測量図を生成する写真測量用画像処理方法において、

他の被写体よりも相対的に輝度の高い表面を有し同一平面上に設けられた少なくとも 3 個以上の基準点および 1 個以上の補助点を備えたターゲットを用いて撮影を行う第 1 ステップと、

前記画像を構成する画素の輝度情報に基づいて、高い輝度情報を有する前記基準点および前記補助点に相当する画素のグループを抽出し、各グループの重心となる画素の前記画像における写真座標を算出する第 2 ステップと、

前記写真座標算出手段により得られた前記基準点の写真座標と、前記ターゲットの寸法形状に基づいて、前記カメラパラメータを算出する第 3 ステップと、

前記カメラパラメータ算出手段により算出された前記カメラパラメータと、前記ターゲットの寸法形状に基づいて、前記補助点の写真座標に実質的に一致し得るスクリーン座標を算出する第 4 ステップと、

前記写真座標算出手段により得られた前記補助点の写真座標と、前記スクリーン座標算出手段により得られた前記補助点のスクリーン座標とが所定の許容誤差範囲内であるか否かを判定する第 5 ステップと

を備えることを特徴とする写真測量用画像処理方法。

【請求項 3】 所定の寸法形状のターゲットを共通に含む複数の画像のそれぞれについて、各画像を撮影したカメラの位置およびその光軸の傾きを含むカメラパラメータを算出し、前記画像内の共通の物点を当該各画像について指定し、前記カメラパラメータを用いて前記物点の 3 次元座標を算出し、この 3 次元座標に基づいて測量図を生成する写真測量用画像処理プログラムにおいて、

前記ターゲットが、他の被写体よりも相対的に輝度の高い表面を有し同一平面上に設けられた少なくとも 3 個以上の基準点および 1 個以上の補助点を備えており、

前記画像を構成する画素の輝度情報に基づいて、高い輝度情報を有する前記基準点および前記補助点に相当する画素のグループを抽出し、各グループの重心となる画素の前記画像における写真座標を算出する写真座標算出ルーチンと、

前記写真座標算出手段により得られた前記基準点の写真座標と、前記ターゲッ

トの寸法形状に基づいて、前記カメラパラメータを算出するカメラパラメータ算出ルーチンと、

前記カメラパラメータ算出手段により算出された前記カメラパラメータと、前記ターゲットの寸法形状に基づいて、前記補助点の写真座標に実質的に一致し得るスクリーン座標を算出するスクリーン座標算出ルーチンと、

前記写真座標算出手段により得られた前記補助点の写真座標と、前記スクリーン座標算出手段により得られた前記補助点のスクリーン座標とが所定の許容誤差範囲内であるか否かを判定する判定ルーチンと

を備える写真測量用画像処理プログラムを格納したことを特徴とする記憶媒体

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、写真測量において、測量図を作図するためのカメラパラメータ算出に関し、特にカメラパラメータ算出に用いられる基準点の高精度な座標の算出に関する。

【0002】

【従来の技術】

写真測量は地図の作成に広く使用され、交通事故の現場検証等の局所的な状況の記録においても極めて有効な手段として活用されている。従来写真測量は2台のカメラを離間しつつ固定したステレオカメラを使用し、両カメラで撮影した2つの画像から各測量点の3次元座標を算出する。ここにステレオカメラは大重量かつ大型の機材であり、また3次元座標の計算にはカメラの位置情報、傾斜角度、被写体の実測長さ等詳細な情報を記録しておく必要があり、測量作業は煩雑かつ重労働である。また交通事故現場の周囲に障害物が多い等、充分広い撮影環境が確保されないことも多く、ステレオカメラによる現場検証が困難なときも多い。

【0003】

そこで本願出願人は、単眼のカメラによる写真測量方法（特開平10-293

026号公報、特開平10-221072号公報）、および同写真測定の精度を向上させるために一対の画像（以下、「ペア画像」という）に含めるターゲット（特開平10-307025号公報、特開平10-293026号公報、特開平10-185563号公報、特開平10-185562号公報、特開平10-170263号公報、特開平10-141951号公報）を多数提案して、簡易機材による効率的な写真測定を実現している。

【0004】

このような写真測定方法においては、同一のターゲットと測定対象物とが任意の異なる方向から撮影されたペア画像を得、専用の写真測定画像処理装置において、ターゲット上に設けた3つ以上の基準点を各画像上においてマウス等の入力手段を用いたマニュアル作業によって指定し、指定した各基準点の画像上の2次元座標（以下、写真座標と呼ぶ）に基づいて、ペア画像が得られたときのカメラの3次元位置や撮影光学系の光軸の傾き（以下、カメラパラメータと呼ぶ）が算出される。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、ペア画像上で互いに対応する3つの基準点をマニュアル指定する作業においてはターゲットの形状や向きを意識しなければならず、さらに測定が広範囲に渡る場合には多数のペア画像が用いられるため、操作が煩雑である上に多大な時間を要する。また、マニュアル指定された基準点の精度は担当者の熟練度に左右され、対応付けを誤ったり、基準点と異なる点を指定したり、あるいは基準点の写真座標に誤差が生じれば、高精度なカメラパラメータ、ひいては正確な測定図が得られない。

【0006】

本発明は、この様な点に鑑みてなされたものであり、基準点の高精度な写真座標を容易に求め、カメラパラメータおよび測定図の精度を向上させるとともに測定作業を簡略にすることが目的である。

【0007】

【課題を解決するための手段】

本発明による写真測量用画像処理装置は、所定の寸法形状のターゲットを共通に含む複数の画像のそれぞれについて、各画像を撮影したカメラの位置およびその光軸の傾きを含むカメラパラメータを算出し、画像内の共通の物点を当該各画像について指定し、カメラパラメータを用いて物点の3次元座標を算出し、この3次元座標に基づいて測量図を生成する写真測量用画像処理装置である。撮影に用いられるターゲットは、他の被写体よりも相対的に輝度の高い表面を有し同一平面上に設けられた少なくとも3個以上の基準点および1個以上の補助点を備えており、上述の写真測量用画像処理装置においては、画像を構成する画素の輝度情報に基づいて、高い輝度情報を有する基準点および補助点に相当する画素のグループを抽出し、各グループの重心となる画素の画像における写真座標を算出する写真座標算出手段と、写真座標算出手段により得られた基準点の写真座標と、ターゲットの寸法形状に基づいて、カメラパラメータを算出するカメラパラメータ算出手段と、カメラパラメータ算出手段により算出されたカメラパラメータと、ターゲットの寸法形状に基づいて、補助点の写真座標に実質的に一致し得るスクリーン座標を算出するスクリーン座標算出手段と、写真座標算出手段により得られた補助点の写真座標と、スクリーン座標算出手段により得られた補助点のスクリーン座標とが所定の許容誤差範囲内であるか否かを判定する判定手段とを備えることを特徴としている。これにより、抽出された基準点の写真座標の精度が容易に判定でき、誤って抽出された基準点の写真座標を用いて不正確な測量図を作成することが防止される。

【0008】

また、本発明による写真測量用画像処理方法は、所定の寸法形状のターゲットを共通に含む複数の画像のそれぞれについて、各画像を撮影したカメラの位置およびその光軸の傾きを含むカメラパラメータを算出し、画像内の共通の物点を当該各画像について指定し、カメラパラメータを用いて物点の3次元座標を算出し、この3次元座標に基づいて測量図を生成する写真測量用画像処理方法であって、他の被写体よりも相対的に輝度の高い表面を有し同一平面上に設けられた少なくとも3個以上の基準点および1個以上の補助点を備えたターゲットを用いて撮影を行う第1ステップと、画像を構成する画素の輝度情報に基づいて、高い輝度

情報を有する基準点および補助点に相当する画素のグループを抽出し、各グループの重心となる画素の画像における写真座標を算出する第2ステップと、写真座標算出手段により得られた基準点の写真座標と、ターゲットの寸法形状に基づいて、カメラパラメータを算出する第3ステップと、カメラパラメータ算出手段により算出されたカメラパラメータと、ターゲットの寸法形状に基づいて、補助点の写真座標に実質的に一致し得るスクリーン座標を算出する第4ステップと、写真座標算出手段により得られた補助点の写真座標と、スクリーン座標算出手段により得られた補助点のスクリーン座標とが所定の許容誤差範囲内であるか否かを判定する第5ステップとを備えることを特徴としている。これにより、抽出された基準点の写真座標の精度が容易に判定でき、誤って抽出された基準点の写真座標を用いて不正確な測量図を作成することが防止される。

【0009】

本発明による記憶媒体は、所定の寸法形状のターゲットを共通に含む複数の画像のそれぞれについて、各画像を撮影したカメラの位置およびその光軸の傾きを含むカメラパラメータを算出し、画像内の共通の物点を当該各画像について指定し、カメラパラメータを用いて物点の3次元座標を算出し、この3次元座標に基づいて測量図を生成するための写真測量用画像処理プログラムを格納している。撮影に用いられるターゲットが、ターゲットが、画像内において他の被写体よりも相対的に低い輝度情報を有する本体と、画像内において他の被写体よりも相対的に高い輝度情報を有し同一平面上に設けられた少なくとも3個以上の基準点および補助点を備えている。上述した写真測量用画像処理プログラムにおいては、画像を構成する画素の輝度情報に基づいて、高い輝度情報を有する基準点および補助点に相当する画素のグループを抽出し、各グループの重心となる画素の画像における写真座標を算出する写真座標算出ルーチンと、写真座標算出手段により得られた基準点の写真座標と、ターゲットの寸法形状に基づいて、カメラパラメータを算出するカメラパラメータ算出ルーチンと、カメラパラメータ算出手段により算出されたカメラパラメータと、ターゲットの寸法形状に基づいて、補助点の写真座標に一致し得るスクリーン座標を算出するスクリーン座標算出ルーチンと、写真座標算出手段により得られた補助点の写真座標と、スクリーン座標算出

手段により得られた補助点のスクリーン座標とが所定の許容誤差範囲内であるか否かを判定する判定ルーチンとを備えることが特徴とされる。これにより、汎用のパーソナルコンピュータにおいてこの写真測量画像処理プログラムを実行させ、抽出された基準点の写真座標の精度が容易に判定して、誤って抽出された基準点の写真座標を用いて不正確な測量図を作成することが防止される。

【0010】

【発明の実施の形態】

以下、本発明に係る写真測量画像処理装置、写真測量画像処理方法、および写真測量画像処理プログラムの一実施形態を図面に基づいて説明する。

【0011】

図1は、本発明の一実施形態における写真測量の撮影状況を示す模式図であり、測量対象であるT字路の外形および白線等を、鉛直上方から見た水平面図である。

【0012】

この撮影において、1つの測量対象（ここでは図中左方へ延びる道路）に対しては、1台のカメラ10を用いて、異なる2つの撮影地点から連続して撮影される。この2つの撮影地点はカメラ位置M1およびM2として定義され、各カメラ位置M1、M2はそれぞれカメラ10の撮影光学系の後側主点位置に一致する。カメラ位置M1、M2からそれぞれ伸びる一点鎖線は、カメラ10の撮影光学系（図示せず）の光軸O1およびO2を示している。

【0013】

カメラ10は図示しないCCDを備え、光学画像を電子画像、即ちJ×K配列の輝度信号および色差信号を含むデジタル画素データに変換する。JおよびKは画素の数を示す自然数である。このデジタル画素データは所定のフォーマットに従ってメモ리카ード等の画像記憶媒体に格納される。画像記憶媒体には、デジタル画素データとともに、撮影条件、撮影日時等の種々のデータが格納される。

【0014】

図2および図3は、図1の撮影により得られた2枚の画像を概念的に示す図である。図2はカメラ位置M1において得られた画像IM1を示し、図3はカメラ

位置M2において得られた画像IM2を示す。これらの画像IM1およびIM2は、例えばJ×K画素のカラー画像である。

【0015】

カメラ位置M1、M2で得られた画像IM1およびIM2は、所定の位置に置かれたL字状のターゲット20を共通に写し込んでいる。同一の測量対象および同一位置のターゲット20を含む2枚の画像IM1およびIM2は一对のペア画像として定義される。1つの測量対象に対する画像枚数は3以上でもよい。

【0016】

画像IM1には所定の2次元直交座標系である写真座標系(X_a , Y_a)が定義される。ターゲット20上に設けられた3個の基準点(図4参照、符号22、24および26)は、この写真座標系においてそれぞれ写真座標 a_i (x_{ai} , y_{ai}) ($i=1\sim3$)で表される。図示しないが、画像IM2についても同様である。

【0017】

なお、図2に示す写真座標系(X_a , Y_a)においては、座標原点が画像IM1の中心に、 X_a 座標は右へ進むほど大きい値に、また Y_a 座標は上へ進むほど大きい値になるよう定義されているが、特に限定されない。他に、座標原点を画像IM1の左上隅に、 X_a 座標は右へ進むほど大きい値に、また Y_a 座標は下へ進むほど大きい値になるよう定義された写真座標系(X_a , Y_a)を画像IM1に設定してもよい。

【0018】

図4は図1の撮影において用いられるターゲット20を拡大して示す斜視図である。ターゲット20は一端において互いに連結された2本の柱状部材21、23を備える。これら柱状部材21、23の表面には黒色の無反射シートが全体的に貼付される。これらの柱状部材21、23の端部の上面には、3個の基準点22、24および26が設けられている。基準点22、24および26は例えば白色反射シートが貼付された点部材であり、その周囲には黒色無反射シートが貼付された環状部材25、27および29が設けられている。これにより、白色の基準点22、24および26が強調され、画像上での識別を容易にしている。

【0019】

基準点 2 2 と基準点 2 4 との間には 2 個の点部材が補助点 3 2 および 3 4 と
して設けられ、また基準点 2 4 と基準点 2 6 との間には補助点 3 6 が設けられる。
これら補助点 3 2、3 4 および 3 6 は基準点 2 2、2 4 および 2 6 と同一寸法
形状であり、白色反射シートが貼付される。これら補助点 3 2、3 4 および 3 6
の周囲にはそれぞれ黒色無反射シートが貼付された環状部材 3 3、3 5 および 3
7 が設けられる。

【0020】

即ち、柱状部材 2 1 の長手方向には 4 個の点部材 2 2、3 2、3 4、2 4 が等
間隔に並んでおり、また柱状部材 2 3 の長手方向には 3 個の白色点部材 2 4、3
6、2 6 が等間隔に並んでいる。これにより、ターゲットの方向を容易に認識で
きる。補助点の数は柱状部材 2 1 に 2 個、柱状部材 2 3 に 1 個であるが、これに
限定されず、2 本の柱状部材 2 1 および 2 3 のそれぞれにおいて 1 個以上あれば
よい。

【0021】

2 本の柱状部材 2 1、2 3 と、環状部材 2 5、2 7、2 9、3 3、3 5 および
3 7 には黒色の無反射シートが貼付され、基準点 2 2、2 4、2 6 および補助点
3 2、3 4、3 6 には白色の反射シートが貼付されているが、これに限定されず
、無反射塗料および反射塗料を用いてもよく、画像 IM 1、IM 2 内においてタ
ーゲット 2 0 が相対的に周囲より輝度値が低く、かつ基準点 2 2、2 4、2 6 お
よび補助点 3 2、3 4、3 6 が相対的に周囲より輝度値が高くなるように構成さ
れていればよい。

【0022】

ターゲット 2 0 は道路面上に載置され、基準点 2 2、2 4 および 2 6 を含む平
面は道路面にほぼ平行である。2 本の柱状部材 2 1 および 2 3 の内部には、それ
ぞれの水平面に対する傾斜角、即ち基準点 2 4 および 2 2 を結ぶ直線周りの回転
角、および基準点 2 4 および 2 6 を結ぶ直線周りの回転角を測定するセンサがそ
れぞれ設けられる。

【0023】

測定された 2 つの回転角は、図示しない送信装置によってカメラ 1 0 に送信され、カメラ 1 0 は撮影を行う時点、具体的にはリリースボタンを押した時点での回転角を、デジタル画素データとともに画像記憶媒体に格納する。これにより、後述する写真測量画像処理装置において、3 個の基準点 2 2、2 4 および 2 6 により規定される平面の、水平面に対する傾斜の度合いが容易に求められる。

【0 0 2 4】

基準点 2 2 および 2 4 間の距離と、基準点 2 4 および 2 6 間の距離は共に既知の値 L_T である。3 個の基準点 2 2、2 4 および 2 6 を結ぶことにより、基準点 2 4 を角部（90 度）とする直角二等辺三角形が形成される。この基準点 2 2、2 4 および 2 6 により形成される直角二等辺三角形の実寸データは、後述する写真測量画像処理装置に予め与えられており、写真測量画像処理装置において、所定の 3 次元座標系におけるカメラ位置 M_1 および M_2 の位置を算出する際に用いられる。

【0 0 2 5】

図 5 は、写真測量画像処理装置の全体構成を示すブロック図である。写真測量画像処理装置は、表示装置 5 0、キーボードおよびマウス等の入力装置 5 2 および CPU 5 4 を有し、これらは直接または間接的にバス 5 6 に接続されている。CPU 5 4 には、入力状態管理部 6 0、表示状態管理部 6 2、演算処理部 6 4 およびデータ管理部 6 6 が設けられ、ここで必要な管理、演算、処理が実行される。

【0 0 2 6】

入力装置 5 2 には、バス 5 6 に接続された入力装置制御装置 5 8 が接続され、これによって入力装置 5 2 からの入力がバス 5 6 に転送され、また入力装置 5 2 の入力モード等が設定される。画像記憶媒体 7 0 はメモリカードリーダー等の記憶媒体制御装置 7 2 に挿入され、これによって画像記憶媒体 7 0 に格納されたデジタル画素データ等が適宜読み出される。

【0 0 2 7】

さらにバス 5 6 には作業メモリ 7 4 および表示メモリ 7 6 が接続される。作業メモリ 7 4 は CPU 5 4 の演算、処理におけるキャッシュメモリ等に使用され、

後述するカメラパラメータ算出処理に用いられる種々のデータはここに格納される。表示メモリ 76 には表示装置 50 で表示すべき内容が保持される。表示装置 50 には、バス 56 に接続された表示装置制御装置 78 が接続され、表示メモリ 76 内のデジタルデータが表示装置 50 のためのアナログ RGB 信号に変換される。

【0028】

CPU 54 の入力状態管理部 60 は入力装置 52 の設定を管理し、また入力された情報、例えばマウスにより画面上を移動するマウスポインタの座標、キーボードから入力された文字等を所定のデジタルデータに変換する。表示状態管理部 62 は表示装置 50 に表示すべき内容を管理し、表示に関する設定の変更等があったときには表示内容を変更する。演算処理部 64 は後述するカメラパラメータ算出処理に使用される。データ管理部 66 は画像記憶媒体 70 から読込んだ画像等のデータを管理し、またこれに基づいて作成された種々の座標データ、作図された測量図のデータ等を管理する。

【0029】

図 5 に示す写真測量画像処理装置においては、まず画像記憶媒体 70 から画像 2 枚分のデータが読み出され、これらに基づいてそれぞれカメラ位置 M1、M2 の 3 次元座標およびその光軸 O1 および O2 の傾きが算出される。このカメラ位置の 3 次元座標およびその光軸の傾きを、あわせてカメラパラメータと呼ぶ。

【0030】

次に図 6 を参照して、カメラパラメータを算出する原理および方法を説明する。代表してカメラ位置 M1 の場合について説明する。図 6 は図 1 に示すカメラ位置 M1 と、カメラ 10 の撮影光学系の結像面であるスクリーン S とターゲット 20 の関係を概念的に示す斜視図である。スクリーン S は実質的に画像 IM1 に一致する。

【0031】

ターゲット 20 をカメラ 10 のスクリーン S 上に結像した状態においては、光軸 O1 はカメラ位置 M1 およびスクリーン S の撮影中心 C を通り、スクリーン S に投影された基準点 22、24 および 26 の像点 p1、p2 および p3 は、カメ

ラ位置M1と各基準点22、24および26とを結ぶ直線上にそれぞれ位置する。

【0032】

スクリーンSには、撮影中心Cを原点(0, 0)とするスクリーン座標系(X_p , Y_p)が定義される。このスクリーン座標系における像点 p_1 、 p_2 および p_3 の2次元座標、即ちスクリーン座標は、それぞれ $p_1(x_{p1}, y_{p1})$ 、 $p_2(x_{p2}, y_{p2})$ 、 $p_3(x_{p3}, y_{p3})$ である。

【0033】

また、図6において、カメラ位置M1を原点(0, 0, 0)とする3次元座標系がカメラ座標系(X_c , Y_c , Z_c)として定義されており、 X_c 軸および Y_c 軸はそれぞれスクリーン座標系の X_p 軸および Y_p 軸に平行であり、 Z_c 軸は光軸O1に一致する。

【0034】

カメラ座標系における基準点22、24および26の3次元座標、即ちカメラ座標を $P_{ci}(P_{cxi}, P_{cyi}, P_{czi})$ (ただし、 $i=1\sim 3$)と定義すると、像点であるスクリーン座標 $p_i(x_{pi}, y_{pi})$ と基準点のカメラ座標($P_{cxi}, P_{cyi}, P_{czi}$)との関係は式(1)および式(2)により示される。なお、式(1)および式(2)において、 f はカメラ10の焦点距離である。

【数1】

$$x_{pi} = f \times \frac{P_{cxi}}{P_{czi}} \quad (i=1\sim 3) \quad \text{式(1)}$$

$$y_{pi} = f \times \frac{P_{cyi}}{P_{czi}} \quad (i=1\sim 3) \quad \text{式(2)}$$

【0035】

さらに、図6において、ターゲット20の基準点24を原点とする3次元座標が基準座標系(X_s , Y_s , Z_s)として定義される。基準座標系の X_s 軸、 Z_s 軸は基準点24および22を結ぶ直線、基準点24および26を結ぶ直線にそ

れぞれ沿っており、Y s 軸はX s 軸、Z s 軸に対して垂直である。

【0036】

X s 軸、Z s 軸の水平面に対するそれぞれの回転角のデータはデジタル画素データとともに画像記憶媒体 70 に格納されており、ターゲット 20 が水平面に対して傾斜している場合には、この回転角のデータによりX s 軸およびZ s 軸の傾きが補正される。従って、Y s 軸は鉛直方向に一致させられ、X s - Z s 平面は水平面にほぼ一致せしめられる。

【0037】

ここで、基準座標系におけるカメラ位置M1の座標、即ち基準座標を (ΔX , ΔY , ΔZ)、光軸O1の傾きを (α , β , γ) と定義すると、カメラ座標Pci ($Pcxi$, $Pcyi$, $Pczi$) と基準座標Psi ($Psxi$, $Psyi$, $Psz i$) との関係は、式 (3) により示される。

【数2】

$$Pci = R \bullet (Psi - \Delta) \quad \text{式 (3)}$$

$$R = \begin{pmatrix} \cos\beta\cos\gamma & \cos\alpha\sin\gamma + \sin\alpha\sin\beta\cos\gamma & \sin\alpha\sin\gamma - \cos\alpha\sin\beta\cos\gamma \\ -\cos\beta\cos\gamma & -\cos\alpha\cos\gamma - \sin\alpha\sin\beta\sin\gamma & \sin\alpha\cos\gamma + \cos\alpha\sin\beta\sin\gamma \\ \sin\beta & -\sin\alpha\cos\beta & \cos\alpha\cos\beta \end{pmatrix}$$

式 (4)

【0038】

なお、式 (3) におけるRは回転行列であり、式 (4) に示されるように、光軸O1 (Z c 軸) の方向余弦 $\cos\alpha$ 、 $\cos\beta$ 、 $\cos\gamma$ で表される。また、式 (3) における Δ は、座標原点移動量であり、カメラ位置M1の基準座標 (ΔX , ΔY , ΔZ) に一致する。

【0039】

実際には、画像記憶媒体 70 から画像IM1がCPU54に読み込まれると、この画像IM1に対して後述する種々の画像処理が施され、基準点22、24お

よび 26 が自動抽出される。これにより各基準点 22、24 および 26 の写真座標 $a_i (x_{ai}, y_{ai})$ ($i = 1 \sim 3$) が求められる。なお、このとき 3 つの補助点 32、34 および 36 も同時に自動抽出され、それぞれ写真座標 $a_i (x_{ai}, y_{ai})$ ($i = 4 \sim 6$) が求められる。

【0040】

また、予め与えられた基準点 22、24 および 26 により形成される直角二等辺三角形の実寸データに基づいて、基準座標系における基準点 22、24 および 26 の基準座標が、それぞれ $P_{s1} (-LT, 0, 0)$ 、 $P_{s2} (0, 0, 0)$ 、 $P_{s3} (0, 0, LT)$ に決定され、これら基準座標から上述の算出方法により各基準点 22、24 および 26 のスクリーン座標 $p_i (x_{pi}, y_{pi})$ ($i = 1 \sim 3$) が求められる。このとき、カメラパラメータ ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z, \alpha, \beta, \gamma$) には適当な初期値が与えられる。

【0041】

スクリーン S は実質的に画像 IM1 に一致するものとし、画像 IM1 から読み取られた写真座標 a_i とスクリーン座標 p_i との差、例えば式 (5) に示される Φ が最小となるカメラパラメータが、逐次近似解法を用いて算出される。

【数 3】

$$\Phi = \sum_{i=1}^3 \left\{ (x_{pi} - x_{ai})^2 + (y_{pi} - y_{ai})^2 \right\} \quad \text{式 (5)}$$

【0042】

なお、逐次近似解法については公知であるので詳述しないが、この算出において最初に与えられる初期値としては、 $\Delta X = 0 \text{ m}$ 、 $\Delta Y = 1.5 \text{ m}$ 、 $\Delta Z = 0 \text{ m}$ 、 $\alpha = 0$ 度、 β は $0 \sim 360$ 度の範囲における任意の値、 $\gamma = 0$ 度が与えられる。 ΔY に関しては撮影者の目の高さに相当する。また β に関しては経験によって定められるおおよその値である。このように、実際の撮影に即した近似値を初期値として与えると、算出時間の短縮化が図れる。

【0043】

ペア画像における他方の画像 IM2 のカメラパラメータについても、同様の手法で求められる。これらカメラパラメータは、作業メモリ 74 の所定領域に格納される。

【0044】

図 7 は、写真測量画像処理装置の表示装置 50 における表示画面を概念的に示す図である。この表示画面は上述の 2 枚の画像 IM1 および IM2 にそれぞれ対応したカメラパラメータが算出された後に表示され、この表示画面において、測量図が生成される。

【0045】

この表示画面の上段には画像表示領域 IMA が設けられ、下段には作図領域 DRA が設けられる。画像表示領域 IMA には、ペア画像 IM1 および IM2 が並列して表示され、作図領域 DRA にはペア画像 IM1 および IM2 に基づいて作図された測量図（図中の道路の外形を示す実線 L 等）が描かれる。

【0046】

測量図は道路を鉛直上方から見た水平面図であり、基準座標系の $X_s - Z_s$ 平面に一致する。作図領域 DRA には、基準座標系の原点であるターゲット 20 の基準点 24 の位置が点表示される。

【0047】

作図に際しては、ペア画像中で対応する像点がマニュアルで指定される。詳述すると、画像 IM1 および IM2 において、道路の角の像点 $OP1'$ 、 $OP1''$ がマウスによりマニュアル指定されると、これら像点 $OP1'$ 、 $OP1''$ に対応した物点 $OP1$ の基準座標が算出されるとともに、作図領域 DRA に物点 $OP1$ が点表示される。

【0048】

物点 $OP1$ の基準座標は、式 (1) ~ (4) を用いて求められ、ここでカメラパラメータ (ΔX , ΔY , ΔZ , α , β , γ) には、予め求められ作業メモリ 74 に格納された値が用いられる。このように、予めカメラパラメータが求められていることにより、物点 $OP1$ の基準座標が容易に求められ、算出時間の短縮が図られる。

【0049】

作図領域DRA内には、作図のためのメニューDRMが設けられ、このメニューDRMにおいて、「直線描画」、「多角形描画」、「直径指定円描画」、「半径指定円描画」、「補助点描画」、「入力完了」等のコマンドが選択される。例えば「直線描画」が選択されている場合、物点OP1およびOP2が連続して指定されると、この2点OP1およびOP2を結ぶ直線L1が自動的に作成され、作図領域DRAに表示される。

【0050】

以上のようにして、測量図が作成される。この測量図のデータは必要に応じてフロッピーディスク等の記憶媒体に格納される。なお、図5においては測量図のデータを記憶媒体に格納するための構成は省略される。

【0051】

このように、測量図の作成においては、ターゲット20を用いてカメラパラメータが求められ、このカメラパラメータを用いて物点の座標が算出される。従って、高精度の測量図を得るためにはカメラパラメータの精度は高いほどよい。

【0052】

従来、カメラパラメータを求める際には物点OP1と同様に基準点22、24および26をマニュアル指定し、写真座標 a_i を求めていた。しかし、マニュアル指定では精度よく指定することは難しく、また基準点の対応付けも容易ではない。本実施形態においては、カメラパラメータ算出処理において、この基準点の写真座標 a_i を画像処理によって自動的に決定することにより、誤差や対応付けの間違いを防止している。また、マニュアル指定に比べて作業効率が大幅に向上する。

【0053】

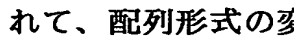
図8および図9を参照して、CPU54の演算処理部64において実行されるカメラパラメータ算出処理の大まかな処理流れについて説明する。図8および図9はカメラパラメータ算出処理のメインルーチンを示すフローチャートであり、画像記憶媒体70から画像1枚分のデータが読み込まれるごとに実行される。ここでは代表して画像IM1が読み込まれた場合について説明する。なお、カメラ

パラメータ算出処理のメインルーチンは写真測量画像処理プログラムの一部を構成している。

【0054】

まず、ステップS102において画像IM1のデジタル画素データが画像記憶媒体70から読み込まれ、ステップS104において読み込まれた画像IM1に対応するカメラパラメータ(ΔX , ΔY , ΔZ , α , β , γ)が算出されたか否かを示すフラグが「FALSE」に設定される。

【0055】

ステップS106では、読み込まれた画像にはグレースケール処理が施されて、デジタル画素データの色成分の情報(色信号)が除去され、輝度信号のみが抽出される。ここで、画像を構成する全画素について256階調の輝度値が抽出されて、配列形式の変数に格納される。jおよびkは画像に定義された写真座標系における2次元座標である。このグレースケール処理は、ターゲット20の基準点22、24、26および補助点32、34、36が白色である、即ち輝度値が高く、かつその他の部分が黒色である、即ち輝度値が低いことを鑑みて、画像処理を単純化して処理速度を早めるために行われる。

【0056】

次に、外接矩形候補算出サブルーチンが実行され(ステップS200)、画像の中でターゲットとなり得る部分を含む長方形が、外接矩形候補として切り出される。そしてステップS110において、全外接矩形候補に対してステップS300以降の処理が終了したか否かが判定される。ステップS200において外接矩形候補が検出されなかった場合あるいは全外接矩形候補の処理が終了した場合には、カメラパラメータ算出フラグは「FALSE」のまま、カメラパラメータ算出処理のメインルーチンが終了する。未だ処理されていない外接矩形候補がある場合には、ステップS300に進む。

【0057】

ステップS300では2値化閾値候補検出サブルーチンが実行され、1つの外接矩形候補に対して2値化処理のための閾値となり得る候補が求められる。そして、ステップS120において、全閾値候補に対してステップS400以降の処

理が終了したか否かが判定される。現在設定されている外接矩形候補の全閾値候補について終了したと判定されると、未処理の外接矩形候補に変更するべくステップ S 1 1 0 に戻る。ステップ S 3 0 0 において現在設定されている外接矩形候補について閾値候補が得られなかった場合にもステップ S 1 1 0 に戻る。ステップ S 1 2 0 において全ての閾値候補の処理が終了していないと判定されれば、ステップ S 4 0 0 に進む。

【0058】

ステップ S 4 0 0 では組合せ検出サブルーチンが実行され、1 つの外接矩形候補に対して 1 候補である閾値をもって 2 値化処理が行われ、さらにラベリング処理等が施されて、基準点 2 2、2 4、2 6 および補助点 3 2、3 4、3 6 となり得る画素のグループが検出され、これら画素のグループが基準点 2 2、2 4、2 6 および補助点 3 2、3 4、3 6 の組合せの候補に登録される。そしてステップ S 1 3 0 では全ての組合せに対してステップ S 5 0 0 以降の処理が終了したか否かが判定さる。ここで、現在設定されている外接矩形候補および閾値候補の全組合せに対して処理が終了した場合、あるいはステップ S 4 0 0 において組合せが検出されなかった場合には、未処理の閾値候補に変更するべくステップ S 1 2 0 に戻る。ステップ S 1 3 0 において全ての組合せの処理が終了していないと判定されれば、ステップ S 5 0 0 に進む。

【0059】

ステップ S 5 0 0 では座標補正サブルーチンが実行され、組合せ検出サブルーチンにおいて求められた基準点 2 2、2 4、2 6 および補助点 3 2、3 4、3 6 の 1 候補である画素グループの組合せに対して、さらに高精度の写真座標 a_i が求められる。そして、これら写真座標 a_i からカメラパラメータ (ΔX , ΔY , ΔZ , α , β , γ) が求められる (ステップ S 6 0 0)。次にステップ S 1 4 0 が実行され、ここでステップ S 6 0 0 において算出されたカメラパラメータが正しいと判定された場合には、カメラパラメータ算出フラグには「TRUE」が代入され、カメラパラメータ算出処理のメインルーチンが終了する。ステップ S 1 4 0 においてカメラパラメータが正しい値ではない、あるいは算出されなかったと判定された場合には、未処理の組合せに変更するべくステップ S 1 3 0 に戻

る。

【0060】

このように、カメラパラメータ算出処理のメインルーチンにおいては、ターゲット20となり得る外接矩形候補を抽出し、各外接矩形候補について最も2値化に適した閾値候補を検出し、さらに所定の外接矩形候補およびその閾値候補の1つについて、基準点および補助点となり得る組合せを求めている。そして、所定の組合せについて2値化処理およびラベリング処理等によって基準点および補助点の写真座標を求め、これに基づいてカメラパラメータを算出している。

【0061】

カメラパラメータの算出は、正しいカメラパラメータが得られるまで、組合せ、閾値候補または外接矩形候補が変更されつつ繰り返し実行され、正しいカメラパラメータの算出が成功した時点でカメラパラメータ算出フラグが「TRUE」となってメインルーチンは終了する。

【0062】

一方、全外接矩形候補の全閾値候補に対して求められた全ての組合せから、正しいカメラパラメータが得られなかった場合、即ちステップS110において全外接矩形候補に対して処理が終了したと判定された場合には、カメラパラメータ算出フラグは「FALSE」のまま、カメラパラメータ算出処理のメインルーチンが終了する。

【0063】

図10～図13を参照して、外接矩形候補算出サブルーチン（図8のステップS200）について説明する。図10および図11は外接矩形候補算出サブルーチンの詳細を示すフローチャートである。

【0064】

まずステップS202において、図12に示すように、 $J \times K$ 画素の画像IM1から $(1/m)$ の縮小画像IGが生成される。具体的には、変数IMg(j, k)に格納された $J \times K$ 画素の輝度値から、Xa方向およびYa方向についてm画素毎に1つの輝度値が抽出され、配列形式の変数IGs(s, t)に格納される。sおよびtは縮小画像IGにおけるXas方向およびYas方向における画

素の座標を示す。

【0065】

次にステップS204において、縮小画像IG、即ち輝度値である変数IGs (s, t) について図13に示すようなヒストグラムが生成される。このヒストグラムは輝度値に対する画素数の分布を示すグラフである。ステップS206ではヒストグラムにおいて最も画素数の多い山MT1が検出されて、ステップS208でこの山MT1の低輝度側の麓部の輝度値G1がステップS210の2値化処理のための閾値として取得される。具体的には、画素数の最大値をとる山MT1において、輝度値に対する画素数の変化量が急激に大きくなり始めるときの輝度値が算出される。

【0066】

ステップS210において実行される2値化処理においては、変数IGs (s, t) に格納された輝度値と閾値G1とが比較され、その輝度値が閾値G1を超えていれば「1」、輝度値が閾値G1以下であれば「0」が、IGsと同様の配列形式のBinに格納される。即ち、縮小画像IGの各画素の輝度値を2値化したデータはBin (s, t) で表される。

【0067】

次いでステップS212が実行されて2値化データ「0」についてラベリングが行われる。ラベリングとは、2値化データが「0」である画素が連続する領域を1つのグループとして抽出する処理であり、これにより輝度値が閾値G1より低い領域が抽出される。抽出された各グループには、そのグループを構成する画素数および対応する2次元座標 (s, t) が所定の変数に格納される。

【0068】

ステップS214においては、ステップS212により抽出された各グループの画素数について、所定の下限值以上のものだけが判別される。この下限値によって規定される画素数の範囲は、縮小画像IGにおけるターゲット20に相当するグループの画素数を十分に含み、かつ最小の範囲となるように設定される。この処理により、ノイズ等の画素数が1、2個程度のグループが除去される。

【0069】

ステップ S 2 1 6 では、ステップ S 2 1 4 により選択された全グループのそれぞれについて、以下のステップ S 2 1 8 ～ S 2 2 2 の処理が終了したか否かが判定される。ここでステップ S 2 1 4 により選択された全グループについて終了した場合、あるいは選択されたグループがない場合には、外接矩形候補算出サブルーチンが終了し、図 8 のメインルーチンに戻る。終了していなければステップ S 2 1 8 に進む。

【0070】

ステップ S 2 1 8 においては、所定のグループ内の画素について縮小画像 I G における X a s 座標の最小値 X a s min および最大値 X a s max 、 Y a s 座標の最小値 Y a s min および最大値 Y a s max が求められ、ステップ S 2 2 0 においてこれら 4 つの座標は下に示す (6) ～ (9) 式により実寸に変換される。

【数 4】

$$xa_{\min} = xas_{\min} \times m \quad \text{式 (6)}$$

$$ya_{\min} = yas_{\min} \times m \quad \text{式 (7)}$$

$$xa_{\max} = xas_{\max} \times m \quad \text{式 (8)}$$

$$ya_{\max} = yas_{\max} \times m \quad \text{式 (9)}$$

【0071】

これにより、図 1 2 に示すように、画像 I M 1 においてターゲット 2 0 の候補となり得る領域、即ち (X a min , Y a min) 、 (X a max , Y a max) で表される 2 点を結ぶ線分を対角線とする長方形の領域 G K (図中、一点鎖線で示す) が、ターゲット 2 0 の外接矩形候補として登録される。実際には、座標値 X a min 、 Y a min 、 X a max および Y a max が作業メモリ 7 4 に格納される。

【0072】

このように、縮小画像 I G を用いてターゲット 2 0 となり得る大まかな領域を抽出することにより、画像 I M 1 の全面素に対して 2 値化処理およびラベリング処理を行う場合に比べて、処理速度を大幅に短縮でき、誤った基準点および補助

点の抽出も防止できる。また低輝度側の麓部の輝度値を閾値 G_1 として定めているので、高輝度側の情報を大幅に削減でき、低輝度であるターゲット 20 がさらに容易に抽出できる。なお、図 12 においては外接矩形候補 GK は 1 つであるが、実際には複数の外接矩形候補 GK が抽出され得る。

【0073】

図 14 および図 15 を参照して、2 値化閾値候補検出サブルーチン（図 9 のステップ S300）について説明する。図 14 は 2 値化閾値候補検出サブルーチンの詳細を示すフローチャートである。

【0074】

まず、ステップ S302 において、外接矩形候補算出サブルーチンによって決定された外接矩形候補 GK の 1 つが、画像 IM_1 から切り出される。具体的には、外接矩形候補 GK を規定する (X_{amin} , X_{amax} , Y_{amin} , Y_{amax}) の座標値が作業メモリ 74 から読み出され、外接矩形候補 GK に相当する領域の輝度値 $IM_g(j, k)$ が読み出される。

【0075】

次いで、ステップ S304 において外接矩形候補 GK の輝度値 $IM_g(j, k)$ について、図 15 に示すヒストグラムが生成され、ステップ S306 において山が検出される。ステップ S308、S310 および S312 においては、ステップ S306 により検出された複数の山、図 15 においては MT_{21} 、 MT_{22} 、 MT_{23} および MT_{24} のそれぞれについて麓部の高輝度側の輝度値 G_{21} 、 G_{22} 、 G_{23} および G_{24} が検出され、これが閾値候補として登録される。具体的には、輝度値に対する画素数の変化量が急激に小さくなり始めるときの輝度値が算出される。ステップ S306 において山が検出されなかった場合には、ステップ S308 において全ての山について終了したと判定され、ステップ S310 および S312 は実行されない。以上で外接矩形候補算出サブルーチンが終了し、図 9 のメインルーチンに戻る。

【0076】

このように、外接矩形候補算出サブルーチンにおいては、1 つの外接矩形候補 GK に対して、4 つの閾値候補 G_{21} 、 G_{22} 、 G_{23} および G_{24} が得られる

。これら閾値候補は、次の組合せ検出サブルーチンにおける 2 値化処理の閾値として用いられ、ここでは高輝度値である基準点および補助点を抽出するので、低輝度側の情報が削減できる山の麓部の高輝度側が閾値候補として登録される。

【0077】

図 16～図 19 を参照して、組合せ検出サブルーチン（図 9 のステップ S400）について説明する。図 16 は組合せ検出サブルーチンの詳細を示すフローチャートである。ここでは外接矩形候補が GK、かつ閾値候補が G21 に設定された場合について説明する。

【0078】

ステップ S402 においては、外接矩形候補 GK の閾値候補 G21 を閾値とする 2 値化処理が行われ、ステップ S404 において高輝度画素についてラベリングが行われる。これにより、閾値 G21 より高い輝度値の連続する領域がグループとして抽出される。抽出された閾値 G21 より高輝度の各グループには、そのグループを構成する画素数および対応する 2 次元座標（ j ， k ）が所定の変数に格納される。これにより、少なくとも基準点および補助点の合計数 6 以上の数のグループが抽出され得る。

【0079】

続いて、仮の重心算出サブルーチン（ステップ S4100）が実行され、閾値 G21 より高輝度の各グループの重心座標が算出される。そして 3 点列-4 点列検出サブルーチン（ステップ S4200）において、3 つのグループの重心座標が同一直線上に並ぶ場合には 3 点列に、4 つのグループの重心座標が同一直線上に並ぶ場合には 4 点列に登録される。さらに、組合せ登録サブルーチン（ステップ S4300）において、3 点列の端点と 4 点列の端点との重心座標が一致するものが、ターゲット 20 の基準点 22、24、26 および補助点 32、34、36 であると判定され、1 つの組合せとして登録される。以上で組合せ検出サブルーチンが終了し、図 9 のメインルーチンに戻る。

【0080】

このように、この組合せ検出サブルーチンではターゲット 20 の形状、即ち基準点 22、24、26 および補助点 32、34、36 の配列が利用される。なお

、本実施形態ではターゲット 20 の柱状部材 21 に沿う点部材の配列が 3、柱状部材 23 に沿う点部材の配列が 4 であるため、3 点列および 4 点列の抽出が行われるが、ターゲット 20 上の点部材の配列数が変われば、それに応じて抽出される同一直線上の点列数も適宜変更される。

【0081】

図 17 は仮の重心算出サブルーチン（図 16 のステップ S4100）の詳細を示すフローチャートである。ここでは、ステップ S404 において抽出された閾値 G21 より高輝度の各グループについてそれぞれの重心座標が算出される。

【0082】

まず、ステップ S4102 において、外接矩形候補 GK における閾値 G21 より高輝度の全てのグループについてステップ S4104 以下の処理が終了したか否かが判定される。ステップ S404 においてグループが抽出されなかった場合や、全グループの処理が終了した場合には、仮の重心算出サブルーチンは終了し、図 16 の組合せ検出サブルーチンに戻る。未処理のグループがある場合には、その中の 1 つのグループが設定されステップ S4104 に進む。

【0083】

ステップ S4104 においては、変数 SumX、SumY および SumImg が初期化される。ステップ S4106 では、現在設定されているグループの全画素について以下のステップ 4108～S4112 の処理が終了したか否かが判定され、終了した場合にはステップ S4114 に進み、未処理の画素があると判定されると、ステップ S4108 へ進む。

【0084】

ステップ S4108 において、1 つのグループ内の所定の画素の輝度値 $Img(j, k)$ と、その画素の X 座標 j との積が算出される。そして、この時点で既に変数 SumX に格納されている値に積を加算した値が新たに変数 SumX に格納される。同様に、ステップ S4110 において所定画素の輝度値 $Img(j, k)$ と、その画素の Y 座標 k との積が算出され、その時点で既に変数 SumY に格納されている値に、積を加算した値が新たに変数 SumY に格納される。さらに、ステップ S4112 において、所定画素の輝度値とその時点で変数 Sum

m I M g に格納されている値との和が新たに変数 S u m I M g に格納される。ステップ S 4 1 1 2 が終了するとステップ S 4 1 0 6 へ戻る。このように、ステップ S 4 1 0 8 ~ S 4 1 1 2 は 1 グループを構成する全画素に対して繰り返し実行される。

【0085】

ステップ S 4 1 0 6 ~ S 4 1 1 2 により、変数 S u m X には 1 つのグループを構成する各画素の輝度値と X a 座標との積を累積した総和、即ち各画素の輝度値を X a 方向の座標に基づいて重み付けした総和が格納される。同様に、変数 S u m Y には各画素の輝度値を Y a 方向の座標に基づいて重み付けした総和が格納される。また、変数 S u m I M g には各画素の輝度値の総和が格納される。

【0086】

次にステップ S 4 1 1 4 が実行され、X a 方向に重み付けされた総和 S u m X を各画素の輝度値の総和 S u m I M g で除算した値が、グループの仮の重心の X a 座標として決定される。さらにステップ S 4 1 1 6 では Y a 方向に重み付けされた総和 S u m Y を各画素の輝度値の総和 S u m I M g で除算した値が、グループの仮の重心の Y a 座標として決定される。ステップ S 4 1 1 6 が終了すると、ステップ S 4 1 0 2 に戻る。

【0087】

この仮の重心の X a 座標および Y a 座標は、厳密には真の重心に対して微少の誤差を生じるが、この仮の重心は後述の 3 点列 - 4 点列検出サブルーチン（ステップ S 4 2 0 0）および組合せ登録サブルーチン（ステップ S 4 3 0 0）にのみ用いられるので、誤差は許容範囲内であり特に問題とはならない。真の重心の X a 座標および Y a 座標は、座標補正サブルーチン（図 9 のステップ S 5 0 0）において算出される。なお、本実施形態では輝度値 I M g (j , k) による重み付けを行っているが、この重み付けの値を「1」とし、仮の重心の算出を簡略化して、算出時間を短縮してもよい。

【0088】

このように、仮の重心算出サブルーチンにおいては、所定の閾値候補 G 2 1 以上の輝度値を有する外接矩形候補 G K 内の全てのグループについて、仮の重心座

標が算出される。

【0089】

図18は、仮の重心算出サブルーチンに続いて処理される3点列-4点列検出サブルーチン（図16のステップS4200）の詳細を示すフローチャートである。上述したように、ターゲット20における基準点22、24、26および補助点32、34、36の配列により、画像IM1においてこれらは3つの点（24、36、26）から成る3点列と、この3点列に対して所定角度を有しかつ端点が一致する4点列（4点24、34、32および22から成る）との組合せとして認識される。ここでは3点列および4点列が抽出される。

【0090】

ステップS4202では、まず2つのグループの全組合せについて、ステップS4204以降の処理が実行されたか否かが判定される。例えばステップS404のラベリング（図16参照）により6グループが抽出されると、2つのグループの組合せ総数は15である。ステップS404においてグループが抽出されなかった場合や、全組合せについて処理が終了した場合、3点列-4点列検出サブルーチンは終了し、図16の組合せ検出サブルーチンに戻る。終了していないと判定されると、未だ処理されていない2グループの組合せが設定され、ステップS4204に進む。

【0091】

ステップS4204では、設定された2つのグループの仮の重心を含む線分が算出される。そして、ステップS4206において、算出された線分上に仮の重心を有するグループが検出される。このグループの検出においては、仮の重心の誤差を考慮して、所定の許容誤差範囲内であることとする。

【0092】

ステップS4208では、線分上に仮の重心を有するグループが3であるか否か、即ち選択した2グループ以外に1つのグループが検出されたか否かが判定され、グループ数が3に一致する場合は、ステップS4210においてこれら3グループが3点列に登録される。

【0093】

さらに、ステップ S 4 2 1 2 では、線分上に仮の重心を有するグループが 4 であるか否か、即ち選択した 2 グループ以外に 2 つのグループが検出されたか否かが判定され、グループ数が 4 に一致する場合は、ステップ S 4 2 1 4 においてこれら 4 つのグループが 4 点列に登録される。ステップ S 4 2 1 4 が終了すると、未処理の 2 グループの組合せに変更すべくステップ S 4 2 0 2 に戻る。なお、ステップ S 4 2 0 8 およびステップ S 4 2 1 2 において、グループ数が 3 または 4 に一致しない場合には、3 点列または 4 点列に登録されない。

【 0 0 9 4 】

例えば、外接矩形候補 G K について閾値候補 G 2 1 より高輝度のグループが 6 つ検出され、これらグループの配列が基準点 2 2、2 4、2 6 および補助点 3 2、3 4、3 6 の配列に一致する場合、3 点列は基準点 2 2 および補助点 3 2、3 4 に相当する組合せと、補助点 3 2、3 4 および基準点 2 4 に相当する組合せと、基準点 2 4、補助点 3 6 および基準点 2 6 に相当する組合せとの 3 組が登録され、4 点列は 1 組（基準点 2 2、補助点 3 2、3 4 および基準点 2 4）登録される。

【 0 0 9 5 】

3 点列および 4 点列の登録は、具体的には作業メモリ 7 4 の所定領域に、対応付けられたグループの名称（これは CPU 5 4 により適宜定義付けられる）、グループを構成する画素および対応する輝度値が格納される。

【 0 0 9 6 】

図 1 9 は組合せ登録サブルーチン（図 1 6 のステップ S 4 3 0 0）の詳細を示すフローチャートである。

【 0 0 9 7 】

ステップ S 4 3 0 2 では 3 点列 - 4 点列検出サブルーチンにより登録された全ての 3 点列に対してステップ S 4 3 0 4 以降の処理が終了したか否かが判定され、終了した場合にはこの組合せ登録サブルーチンが終了し、未だ処理されていない 3 点列がある場合には、その中の 1 組の 3 点列が選択され、ステップ S 4 3 0 4 に進む。

【 0 0 9 8 】

ステップ S 4 3 0 4 では 3 点列 - 4 点列検出サブルーチンにより登録された全ての 4 点列に対してステップ S 4 3 0 6 以降の処理が終了したか否かが判定され、終了した場合にはステップ S 4 3 0 2 に戻り、未だ処理されていない 4 点列がある場合にはその中の 1 組の 4 点列が選択され、ステップ S 4 3 0 6 に進む。

【0 0 9 9】

ステップ S 4 3 0 6 では、選択された 3 点列および 4 点列のそれぞれ端点に相当するグループの仮の重心座標が、互いに一致するか否かが判定される。一致する場合にはステップ S 4 3 0 8 が実行される。

【0 1 0 0】

ステップ S 4 3 0 8 では、3 点列を構成するグループのうち、4 点列と一致する端点と反対側の端点に相当するグループの仮の重心座標が、基準点 2 2 の写真座標を示す変数 $a 1$ ($x a 1$, $y a 1$) に格納される。3 点列および 4 点列に一致する端点に相当するグループの仮の重心座標は、基準点 2 4 の写真座標を示す変数 $a 2$ ($x a 2$, $y a 2$) に格納される。さらに、4 点列を構成するグループのうち、3 点列と一致する端点と反対側の端点に相当するグループの仮の重心座標が、基準点 2 6 の写真座標を示す変数 $a 3$ ($x a 3$, $y a 3$) に格納される。そして、点 $a 2$ から点 $a 1$ へ向かうベクトルに対する、点 $a 2$ から点 $a 3$ へ向かうベクトルの成す反時計回りの角度 θ が算出される。

【0 1 0 1】

なお、4 点列を構成するグループのうち、端点ではなくかつ基準点 2 2 に相当すると判定されたグループの側にあるグループの仮の重心座標が、補助点 3 2 の写真座標を示す変数 $a 4$ ($x a 4$, $y a 4$) に格納され、残りのグループの仮の重心座標が、補助点 3 4 の写真座標を示す変数 $a 5$ ($x a 5$, $y a 5$) に格納される。3 点列の midpoint に相当するグループの仮の重心座標は、補助点 3 2 の写真座標を示す変数 $a 6$ ($x a 6$, $y a 6$) に格納される。

【0 1 0 2】

ステップ S 4 3 1 0 では、角度 θ が所定角度範囲内であるか否か、即ち下限値 $T h 1$ より大きくかつ上限値 $T h 2$ より小さいか否かが判定される。これにより、選択された 3 点列および 4 点列の組合せが正しい組合せであると判断できる。

なお、図 4 に示すターゲット 2 0 を用いる場合には、下限値 $T h 1$ は 0° であり、上限値は 180° であるが、これらの値は経験に基づいて適宜変更可能である。範囲を狭くすれば、誤差の少ない基準点および補助点の組合せがさらに短時間で得られる。

【0 1 0 3】

ステップ S 4 3 1 0 の角度条件を満たす場合、ステップ S 4 3 1 2 において選択された 3 点列および 4 点列の組合せは、基準点部材 2 2、2 4、2 6 および補助点 3 2、3 4、3 6 の相対関係を満たす組合せとして登録される。

【0 1 0 4】

ステップ S 4 3 1 0 の終了後、あるいはステップ S 4 3 0 6 において 3 点列および 4 点列の端点が一致しなかった場合には、ステップ S 4 3 0 4 に戻り、未だ選択されていない 4 点列が新たに選択されて、既選択されている 3 点列との組合せでステップ S 4 3 0 6 以降が再実行される。選択された 3 点列に対していずれの 4 点列との組合せが正しくなかった場合、即ちステップ S 4 3 0 4 で全ての 4 点列に対して処理が終了したと判定されると、ステップ S 4 3 0 2 に戻り、今度は未だ選択されていない別の 3 点列に変更され、ステップ S 4 3 0 4 以下が再実行される。このように 3 点列および 4 点列の組合せを変えながら、ステップ S 4 3 0 6 ~ S 4 3 1 2 が実行される。

【0 1 0 5】

3 点列および 4 点列の全組合せに対して処理が終了すれば、即ちステップ S 4 3 0 2 において全ての 3 点列に対して処理が終了したと判定されると、組合せ登録サブルーチンが終了し、組合せ検出サブルーチン（図 1 6）に戻る。

【0 1 0 6】

以上のように、組合せ検出サブルーチンでは、外接矩形候補算出サブルーチンで予め切り取られた領域に対して処理を行うので、全画像から抽出する従来の画像処理に比べて抽出誤差が少なく、かつ画像処理速度を速めることができる。

【0 1 0 7】

図 2 0 ~ 図 2 6 を参照して、座標補正サブルーチン（図 9 のステップ S 5 0 0）について説明する。図 2 0 は座標補正サブルーチンの詳細を示すフローチャー

トである。

【0 1 0 8】

まずステップ S 5 0 2 では、組合せ検出サブルーチン（ステップ S 4 0 0）により求められた組合せについて、基準点または補助点に相当する 6 つの画素のグループそれぞれについて、ステップ S 5 0 4 ~ S 5 2 0 0 が実行されたか否かが判定される。終了した場合にはこの座標補正サブルーチンが終了し、図 9 のメインルーチンに戻る。終了していない場合には、画像 IM 1 において基準点 2 2、2 4、2 6 または補助点 3 2、3 4、3 6 に相当するグループの中から未処理のグループの 1 つが選択され、ステップ S 5 0 4 へ進む。以降のステップ S 5 0 4 ~ S 5 2 0 0 は、基準点 2 2 に相当するグループが選択された場合について説明する。

【0 1 0 9】

ステップ S 5 0 4 では、設定されたグループを含む領域（以下、近傍領域と呼ぶ）が画像 IM 1 から切り出され、この近傍領域の輝度値 $IM_g(j, k)$ が読み出される。図 2 1 は基準点 2 2 に相当するグループを含む 13×10 画素の近傍領域 KR をマトリクス状に示す概念図であり、ハッチングの間隔が小さくなる領域ほど輝度が低いことを示す。なお近傍領域 KR は図 2 1 では数段階に分かれて示されるが、実際には 256 階調を有する。そして近傍領域 KR の輝度値 $IM_g(j, k)$ について、図 2 2 に示すヒストグラムが生成される。

【0 1 1 0】

この近傍領域 KR は、少なくとも基準点 2 2 に相当するグループ、即ち高輝度領域（図 2 1 の白い領域）を含む大きさを有し、かつこれらの周囲に設けられた環状部材 2 5 に相当する低輝度領域より小さい領域である。従って、図 2 2 のヒストグラムでは、低輝度領域に相当する山 MT 3 1 と、高輝度領域に相当する山 MT 3 2 との 2 つが出現する。

【0 1 1 1】

ステップ S 5 0 8 では低輝度領域に相当する山 MT 3 1 が検出され、ステップ S 5 1 0 において、この山 MT 3 1 の頂点部、即ち画素数が最大値をとるときの輝度値 G 3 が、後述するステップ S 5 1 4 の 2 値化処理における閾値として取得

される。この閾値G 3でもって2 値化およびラベリング処理を行えば、閾値G 3より高輝度の領域がグループとして抽出されるが、実際にはノイズ等により環状部材 2 5に相当する領域の画素を共に抽出してしまうことがある。このため、2 値化処理の前に、近傍領域K Rに対してラプラシアン・フィルタ処理（ステップ S 5 1 2）が施される。

【0 1 1 2】

ラプラシアン・フィルタ処理では、例えば図 2 3に示す8 近傍ラプラシアン・フィルタが用いられる。即ち、下記の式（1 0）によって各画素の輝度値IMg（j， k）が、周囲の8 個の画素の輝度値を考慮した値K R（j， k）に変換される。

【数 5】

$$\begin{aligned}
 KR(j, k) = & 9 \times IMg(j, k)(-1) \times \\
 & + (-1) \times \{IMg(j-1, k+1) + IMg(j, k+1) \\
 & + IMg(j+1, k+1) + IMg(j-1, k) \\
 & + IMg(j+1, k) + IMg(j-1, k-1) \\
 & + IMg(j, k-1) + IMg(j+1, k-1)\}
 \end{aligned}$$

式（1 0）

【0 1 1 3】

図 2 4のグラフを参照して、ラプラシアン・フィルタ処理による効果を説明する。同図には、図 2 1のX a 方向（図の水平方向）のラインL Xに関して、X a 座標と輝度値との関係が示されており、実線は処理前の輝度値、破線は処理後の輝度値が示される。図 2 4に明らかなように、輝度値が高い領域はさらに高い輝度値に変換され、境界部分に相当する領域は閾値G 3より低い輝度値に変換される。

【0 1 1 4】

次に、ステップ S 5 1 4 において近傍領域 K R の輝度値 $I M g(j, k)$ は閾値 G 3 で 2 値化され、ステップ S 5 1 6 のラベリング処理により閾値 G 3 より高い輝度値を有するグループが基準点 2 2 に相当する領域として抽出される。このように、2 値化処理の前にラプラシアン・フィルタ処理を施すことにより、高輝度領域と低輝度領域との境界部分の輝度差が強調され、基準点 2 2 に相当する領域を高精度に抽出することができる。なお、図 2 1 の場合では基準点 2 2 に相当する 1 つのグループのみが抽出されるが、ノイズ等により複数のグループが抽出される場合もある。

【0 1 1 5】

ステップ S 5 1 6 が終了すると、ステップ S 5 1 0 0 において真の重心算出サブルーチンが実行される。真の重心算出サブルーチンでは、ラプラシアン・フィルタ処理が施された近傍領域 K R から抽出され閾値 G 3 より高い輝度値を有するグループのそれぞれについて高精度な重心の座標が算出される。このステップ S 5 1 0 0 によって求められた高精度な重心の座標を、ステップ S 4 1 0 0 において求められた仮の重心座標と区別するために、真の重心座標と呼ぶ。

【0 1 1 6】

続いて、ステップ S 5 2 0 0 において重心補正サブルーチンが実行される。写真座標 $a 1(x a 1, y a 1)$ には、仮の重心算出サブルーチン（ステップ S 4 1 0 0）により求められた仮の重心座標が格納されており、ここで現在格納されている仮の重心座標と直前の真の重心算出サブルーチン（ステップ S 5 1 0 0）によって求められた全グループの真の重心座標とがそれぞれ比較され、全グループの中から最も仮の重心座標に近いグループが選択される。そして、選択されたグループの真の重心座標が仮の重心座標より高精度な重心座標として、写真座標 $a 1(x a 1, y a 1)$ に格納される。これにより写真座標 $a 1(x a 1, y a 1)$ がさらに高精度の値に補正される。

【0 1 1 7】

重心補正サブルーチン（ステップ S 5 2 0 0）が終了すると、未だ処理されていないグループに変更すべく図 2 0 のステップ S 5 0 2 に戻る。このように、ステップ S 5 0 4 ~ S 5 2 0 0 は、基準点 2 2、2 4、2 6 および補助点 3 2、3

4、36に相当するグループ全てについて繰り返し実行される。

【0118】

以上のように、座標補正サブルーチン（ステップS500）では所定の外接矩形候補、所定の2値化閾値候補および所定の組合せについて、基準点22、24、26および補助点32、34、36の写真座標 $a_i (x_{ai}, y_{ai})$ ($i=1\sim6$) がさらに高精度の値に補正される。なお、所定の外接矩形候補、所定の2値化閾値候補および所定の組合せが適切なものでなければ、写真座標 $a_i (x_{ai}, y_{ai})$ は補正されない可能性が高くなる。

【0119】

図25は真の重心算出サブルーチン（図20のステップS5100）の詳細を示すフローチャートである。ここでは、ステップS516において抽出された閾値G3より高輝度の各グループについて、それぞれの輝度値および閾値G3を考慮した高精度の重心座標が算出される。

【0120】

なお、真の重心算出サブルーチンは、仮の重心算出サブルーチン（ステップS4100）とほぼ同じ処理流れであり、対応する処理については符号に1000を加算して示している。ステップS4100と同じ処理についてはここでは省略する。

【0121】

ステップS4100と異なる点は、ステップS5108およびステップS5110である。ステップS5108では、1つのグループ内の所定の画素の輝度値 $IM_g(j, k)$ から閾値G3を差し引いた値と、その画素のXa座標jとの積が算出される。そして、この時点で既に変数SumXに格納されている値に、積を加算した値が新たに変数SumXに格納される。同様に、ステップS5110において所定画素の輝度値 $IM_g(j, k)$ から閾値G3を差し引いた値と、この画素のYa座標kとの積が算出され、その時点で既に変数SumYに格納されている値に、積を加算した値が新たに変数SumYに格納される。

【0122】

このように、変数SumXには1つのグループを構成する各画素の輝度値から

閾値G3を差し引いた値とXa座標との積を累積した総和、即ち各画素の輝度値と閾値G3との差をXa方向の座標に基づいて重み付けをした総和が格納される。同様に、変数SumYには各画素の輝度値と閾値G3との差をYa方向の座標に基づいて重み付けをした総和が格納される。

【0123】

ここで、重み付けの値として、各画素の輝度値から閾値G3を差し引いた値を用いると、ステップS4100のように各画素の輝度値のみを用いる場合よりも、高精度の重心座標が算出できる。

【0124】

ステップS5114では、グループの真の重心のXa座標が、Xa方向に重み付けされた総和SumXを各画素の輝度値の総和SumImgで除算した値に更新される。ステップS5116において、グループの真の重心のYa座標が、Ya方向に重み付けされた総和SumYを各画素の輝度値の総和SumImgで除算した値に更新される。

【0125】

以上のように、真の重心算出サブルーチン（ステップS5100）では閾値G3以上の輝度値を有する近傍領域KR内の各グループについて、輝度値Imgおよび閾値G3を考慮した真の重心座標がそれぞれ算出される。なお、この段階では基準点22に相当するグループだけでなく、近傍領域KR内のノイズ等がグループとして抽出される可能性があり、次に実行される重心補正サブルーチン（ステップS5200）により、これらノイズ等のグループが除去される。

【0126】

図26は重心補正サブルーチン（図20のステップS5200）の詳細を示すフローチャートである。

【0127】

ステップS5202では、許容誤差を示す変数MinLengthが初期化される。この変数MinLengthの初期値は、十分大きな値、例えば画像のXa方向に並ぶピクセル数に設定される。

【0128】

次にステップ S 5 2 0 4 が実行され、真の重心算出サブルーチン（ステップ S 5 1 0 0）において算出された全てグループの真の重心座標について、ステップ S 5 2 0 6～S 5 2 1 0 の処理が終了したか否かが判定される。処理が終了したと判定されると、この重心補正サブルーチンが終了し、図 20 の座標補正サブルーチン（ステップ S 5 0 0）に戻る。終了していなければ未だ処理されていない真の重心座標についてステップ S 5 2 0 6～S 5 2 1 0 が実行される。

【0129】

ステップ S 5 2 0 6 では、現在写真座標 $a_1 (x_{a1}, y_{a1})$ に格納されている仮の重心座標と、真の重心座標との重心間距離が算出され、この重心間距離が許容誤差 $MinLength$ より小さい値か否かが判定される。

【0130】

重心間距離が許容誤差 $MinLength$ 内であれば、ステップ S 5 2 0 8 に進み、許容誤差 $MinLength$ はステップ S 5 2 0 6 で求められた重心間距離に更新され、ステップ S 5 2 1 0 において変数 x_{a1} および y_{a1} の値はそれぞれ現在の真の重心座標の x_a 座標および y_a 座標の値に更新される。即ち、現在の真の重心の座標が基準点 22 の写真座標 $a_1 (x_{a1}, y_{a1})$ として定められ、ステップ S 5 2 0 4 に戻る。重心間距離が許容誤差 $MinLength$ より大きければ、写真座標 $a_1 (x_{a1}, y_{a1})$ は補正されず、ステップ S 5 2 0 4 に戻る。

【0131】

このようにして、全グループの真の重心座標についてステップ S 5 2 0 6～S 5 2 1 0 が実行されることにより、重心補正サブルーチン（ステップ S 5 2 0 0）が終了した時点で、仮の重心に最も近い真の重心が基準点 22 として定められ、真の重心座標が写真座標 $a_1 (x_{a1}, y_{a1})$ に格納される。即ち、写真座標 $a_1 (x_{a1}, y_{a1})$ は高精度な値に補正される。

【0132】

重心補正サブルーチン（ステップ S 5 2 0 0）が終了すると、ステップ S 5 0 2 に戻り、未だ未処理の基準点または補助点についてその写真座標 $a_i (x_{ai}, y_{ai})$ ($i = 2 \sim 6$) を高精度な値に補正すべくステップ S 5 0 4～S 5 2

00が再実行される(図17参照)。さらに全ての基準点および補助点について処理が終了するとステップS500が終了し、次のステップS600が実行される(図9参照)。

【0133】

図27にはカメラパラメータ算出確認サブルーチン(ステップS600)の詳細が示され、ステップS500までの処理によって、所定の外接矩形候補、所定の2値化閾値候補および所定の組合せについて求められた写真座標 $a_i(x_{ai}, y_{ai})$ ($i=1\sim6$)を用いて、カメラパラメータが決定される。

【0134】

まず、ステップS6100のカメラパラメータ算出サブルーチンが実行され、基準点22、24、26の写真座標 $a_i(x_{ai}, y_{ai})$ ($i=1\sim3$)が前述の式(5)に代入され、カメラパラメータ、即ち図6に示すカメラ位置M1の基準座標($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$)および光軸O1の傾き(α, β, γ)が逐次近似解法を用いて算出される。

【0135】

ステップS602では、ステップS6100で求められたカメラパラメータが所定の値に収束したか否かが判定され、収束しなければステップS604へ進み、収束したと判定されればステップS606へ進む。

【0136】

ステップS606、S6200およびS608では、ステップS6100において求められたカメラパラメータ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z, \alpha, \beta, \gamma$)が式(3)および式(4)に代入され、補助点32、34、36のスクリーン座標 $p_i(x_{pi}, y_{pi})$ ($i=4\sim6$)が算出される。そしてこのスクリーン座標 p_i と、対応する写真座標 $a_i(x_{ai}, y_{ai})$ との距離が、所定の許容誤差 $Th3$ 以内であるか否かが判定され、3つの補助点32、34、36全てについて許容誤差 $Th3$ 以内であればステップS610へ、何れか1つでも許容誤差 $Th3$ 以上であればステップS604へ進む。許容誤差 $Th3$ は例えば0.25ピクセルである。

【0137】

ステップ S 6 0 4 では、確認結果が N G、即ちカメラパラメータの算出に失敗した旨を示す信号が返され、ステップ S 6 1 0 では、確認結果が O K、即ちカメラパラメータの算出に成功した旨を示す信号が返される。以上で、カメラパラメータ算出確認サブルーチンが終了し、メインルーチンに戻る。

【0138】

カメラパラメータが高精度な値であればスクリーン座標 p_i および写真座標 a_i は実質的に一致する。もし所定の外接矩形候補、所定の 2 値化閾値候補および所定の組合せが適切なものでなければ、座標補正サブルーチン（ステップ S 5 0 0）において写真座標 a_i (x_{a_i} , y_{a_i}) ($i=1\sim6$) は補正されず、ステップ S 6 1 0 0 において算出されるカメラパラメータは精度の低い値となり、ステップ S 6 0 8 において距離が許容誤差 $T h_3$ を超える可能性が高くなる。外接矩形候補、2 値化閾値候補および組合せの、少なくとも何れか 1 つが適切なものではなかったと判断できる。

【0139】

図 2 8 はカメラパラメータ算出サブルーチン（図 2 7 のステップ S 6 1 0 0）の詳細を示すフローチャートである。

【0140】

ステップ S 6 1 0 2 において、カメラパラメータ (ΔX , ΔY , ΔZ , α , β , γ) が初期化される。次いで、ステップ S 6 1 0 4 において基準座標 $P s_1$ ($-L T$, 0, 0)、 $P s_2$ (0, 0, 0)、 $P s_3$ (0, 0, $L T$) が式 (3) に代入され、かつ式 (3) および式 (4) のカメラパラメータ (ΔX , ΔY , ΔZ , α , β , γ) に適当な値が代入され、これにより基準点 2 2、2 4、2 6 のカメラ座標 $P c_i$ ($P c x_i$, $P c y_i$, $P c z_i$) ($i=1\sim3$) が算出される。

【0141】

ステップ S 6 1 0 6 において、式 (1) および式 (2) に基準点 2 2、2 4、2 6 のカメラ座標 $P c_i$ ($P c x_i$, $P c y_i$, $P c z_i$) ($i=1\sim3$) が代入され、これにより基準点 2 2、2 4、2 6 のスクリーン座標 p_i (x_{p_i} , y_{p_i}) ($i=1\sim3$) が求められる。

【0142】

ステップS6108では、画像IM1から自動抽出された写真座標 a_i (x_{a_i} , y_{a_i}) ($i=1\sim3$)と、ステップS6106により求められたスクリーン座標 p_i (x_{p_i} , y_{p_i}) ($i=1\sim3$)との差分値がそれぞれ算出され、さらにそれらの合計値 d が算出される。

【0143】

ステップS6110では、合計値 d が最小値であるか否かが判定され、最小値でない場合は、カメラパラメータ (ΔX , ΔY , ΔZ , α , β , γ) の値が変更られて、再びステップS6104～S6108の処理が繰り返される。このようにして、合計値 d が最小値となる、即ち写真座標 a_i とスクリーン座標 p_i とが実質的に一致するようなカメラパラメータが算出される。

【0144】

ステップS6110において合計値 d が最小であることが確認されたら、ステップS6112に進み、合計値 d が最小値をとるカメラパラメータ (ΔX , ΔY , ΔZ , α , β , γ) の値が作業領域74に格納され、カメラパラメータ算出サブルーチンが終了する。

【0145】

図29は補助点のスクリーン座標算出サブルーチン (図27のステップS6200) の詳細を示すフローチャートである。

【0146】

ステップS6202において、補助点32、34、36の基準座標 P_{s4} ($\{-LT/3\}$, 0, 0)、 P_{s5} ($\{-2LT/3\}$, 0, 0)、 P_{s6} (0, 0, $\{-LT/2\}$) と、カメラパラメータ算出サブルーチン (ステップS6100) により算出されたカメラパラメータ (ΔX , ΔY , ΔZ , α , β , γ) の値が、式(3)および式(4)に代入され、これにより補助点32、34、36のカメラ座標 P_{ci} (P_{cxi} , P_{cyi} , P_{czi}) ($i=4\sim6$) が算出される。

【0147】

次いで、ステップS6204において、補助点32、34、36のカメラ座標

P_{ci} (P_{cxi} , P_{cyi} , P_{czi}) ($i=4\sim6$) が、式 (1) および式 (2) に代入され、これにより補助点 32、34、36 のスクリーン座標 p_i (x_{pi} , y_{pi}) ($i=4\sim6$) が算出される。以上で補助点のスクリーン座標算出サブルーチンが終了し、図 27 のカメラパラメータ算出確認サブルーチンに戻る。

【0148】

以上の様に本実施形態によれば、ターゲット 20 の本体が無反射シートで覆われているので、画像 IM1 上において輝度の低いターゲット 20 に相当する領域を 2 値化処理等により容易に抽出できる。従って、基準点 22、24、26 および補助点 32、34、36 を画像 IM1 から抽出する際に、処理対象となる領域（外接矩形候補）を限定して抽出誤差を少なくできる。

【0149】

また本実施形態によれば、基準点 22、24、26 および補助点 32、34、36 が、周囲の環状部材 25、27、29、33、35 および 37 と比較して、極めて輝度が高いため、2 値化処理等によって自動的に基準点 22、24、26 および補助点 32、34、36 を 2 値化処理等により容易に抽出できる。

【0150】

さらに、2 値化処理の前にラプラシアン・フィルタ処理を施しており、基準点 22、24、26 および補助点 32、34、36 と外側の領域との境界領域が強調され、境界領域にある低輝度の画素も重心算出の対象にできる。従って、基準点 22、24、26 および補助点 32、34、36 の重心座標を高精度に求めることができる。また、重心座標算出の際に対象画素の輝度値から 2 値化処理に用いられた閾値を差し引いた値によって重み付けを行っており、重心座標の精度をさらに向上できる。したがって、高精度の基準点 22、24、26 および補助点 32、34、36 の座標を用いて極めて誤差の少ないカメラパラメータが求められ、高精度の測量図が得られる。

【0151】

また、本実施形態においては、通常の使用状態では考えられないカメラパラメータが算出された場合や、算出したカメラパラメータから逆算した補助点 32、

34、36のスクリーン座標 p_i が実際に画像 IM1 から抽出された写真座標 a_i と大きな差がある場合には、抽出された基準点 22、24、26 および補助点 32、34、36 の写真座標 a_i が誤っていると判定されるので、基準点 22、24、26 および補助点 32、34、36 の画像 IM1 からの誤抽出が防止できる。

【0152】

また、本実施形態ではこれら基準点 22、24、26 および補助点 32、34、36 の画像 IM1 からの抽出が自動的に行われるので、オペレータが操作に煩わされることなく、高精度の基準点および補助点を短時間で抽出できる。

【0153】

【発明の効果】

本発明によると、基準点の高精度な写真座標が容易に求められるので、カメラパラメータおよび測量図の精度を向上させるとともに測量作業を簡略にすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明による写真測量画像処理方法の実施形態における写真測量の撮影状況を模式的に示す図であり、測量対象である T 字路を鉛直上方から見た水平面図である。

【図2】

図1に示すカメラ位置 M1 において得られた画像 IM1 を概念的に示す図である。

【図3】

図1に示すカメラ位置 M2 において得られた画像 IM2 を概念的に示す図である。

【図4】

図1に示す撮影に用いられるターゲット 20 を拡大して示す斜視図である。

【図5】

本実施形態に用いられる写真測量画像処理装置の全体構成を示すブロック図で

ある。

【図 6】

図 1 に示すカメラ位置 M 1 と、カメラの撮影光学系の結像面であるスクリーン S と、ターゲットとの位置関係を概念的に示す斜視図である。

【図 7】

図 5 に示す写真測量画像処理装置の表示装置における表示画面を概念的に示す図である。

【図 8】

図 5 に示す写真測量画像処理装置の CPU において実行されるカメラパラメータ算出処理のメインルーチンの前半を示すフローチャートである。

【図 9】

図 5 に示す写真測量画像処理装置の CPU において実行されるカメラパラメータ算出処理のメインルーチンの後半を示すフローチャートである。

【図 1 0】

図 8 に示す外接矩形候補算出サブルーチンの前半部分の詳細を示すフローチャートである。

【図 1 1】

図 8 に示す外接矩形候補算出サブルーチンの後半部分の詳細を示すフローチャートである。

【図 1 2】

画像 I M および縮小画像 I G を示す概念図である。

【図 1 3】

図 1 2 に示す縮小画像 I G の輝度値に関する画素数のヒストグラムである。

【図 1 4】

図 9 に示す 2 値化閾値候補検出サブルーチンの詳細を示すフローチャートである。

【図 1 5】

図 1 2 に示す外接矩形候補 G K の輝度値に関する画素数のヒストグラムである。

【図 1 6】

図 9 に示す組合せ検出サブルーチンの詳細を示すフローチャートである。

【図 1 7】

図 1 6 に示す仮の重心算出サブルーチンの詳細を示すフローチャートである。

【図 1 8】

図 1 6 に示す 3 点列 - 4 点列検出サブルーチンの詳細を示すフローチャートである。

【図 1 9】

図 1 6 に示す組合せ登録サブルーチンの詳細を示すフローチャートである。

【図 2 0】

図 9 に示す座標補正サブルーチンの詳細を示すフローチャートである。

【図 2 1】

図 1 2 示す画像 I M から基準点に相当するグループを含む近傍領域を切り出した状態を示す図であり、各画素をマトリクス状に示す概念図である。

【図 2 2】

図 2 1 に示す近傍領域の輝度値に関する画素数のヒストグラムである。

【図 2 3】

8 近傍ラプラシアン・フィルタを概念的に示す図である。

【図 2 4】

図 2 1 に示すライン L X に関して、ラプラシアン・フィルタ処理前および処理後の X a 座標と輝度値との関係を示すグラフである。

【図 2 5】

図 2 0 に示す真の重心算出サブルーチンの詳細を示すフローチャートである。

【図 2 6】

図 2 0 に示す重心補正サブルーチンの詳細を示すフローチャートである。

【図 2 7】

図 9 に示すカメラパラメータ算出確認サブルーチンの詳細を示すフローチャートである。

【図 2 8】

図 2 7 に示すカメラパラメータ算出サブルーチンの詳細を示すフローチャートである。

【図 2 9】

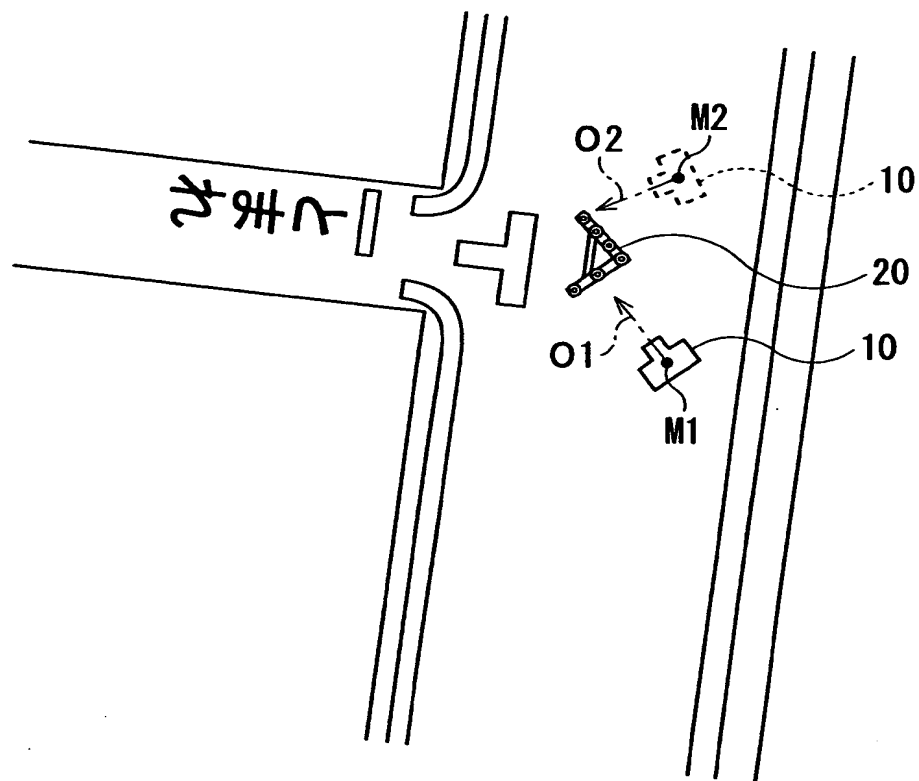
図 2 7 に示す補助点のスクリーン座標算出サブルーチンの詳細を示すフローチャートである。

【符号の説明】

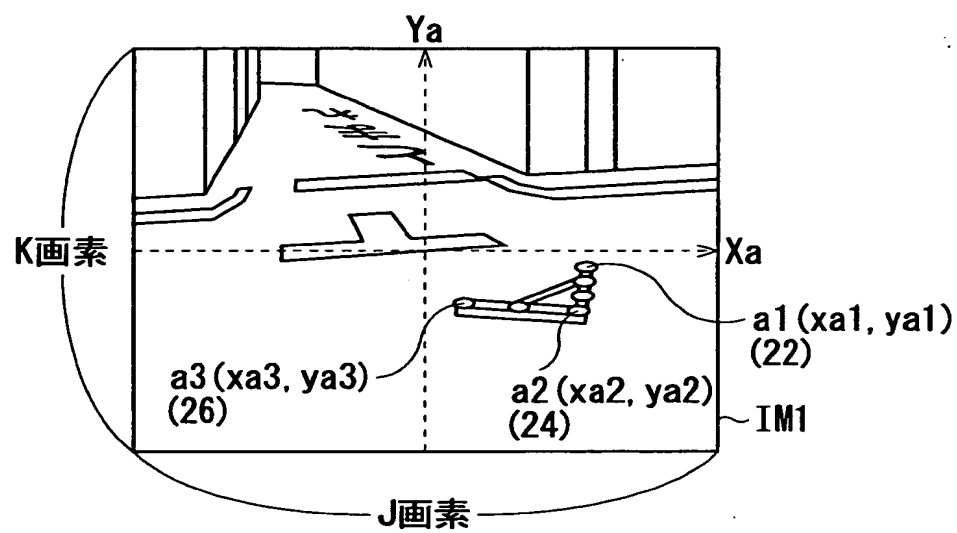
- 1 0 カメラ
- 2 0 ターゲット
- 2 2、2 4、2 6 基準点
- 3 2、3 4、3 6 補助点

【書類名】 図面

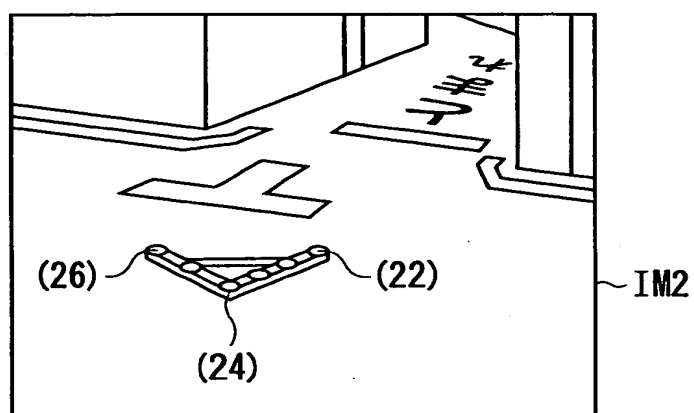
【図 1】



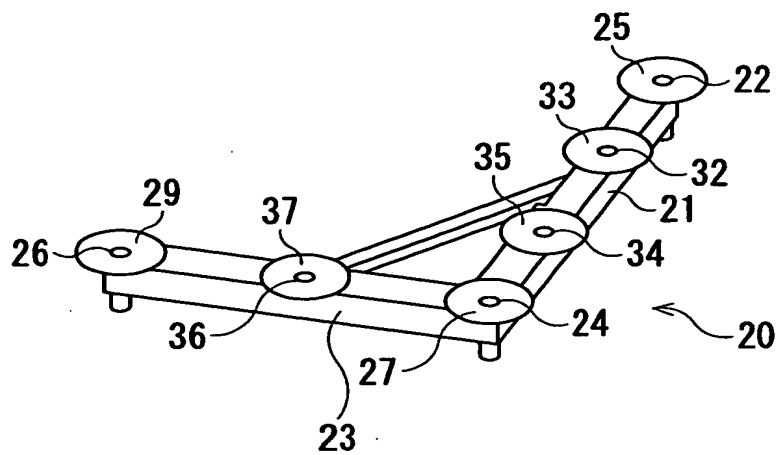
【図 2】



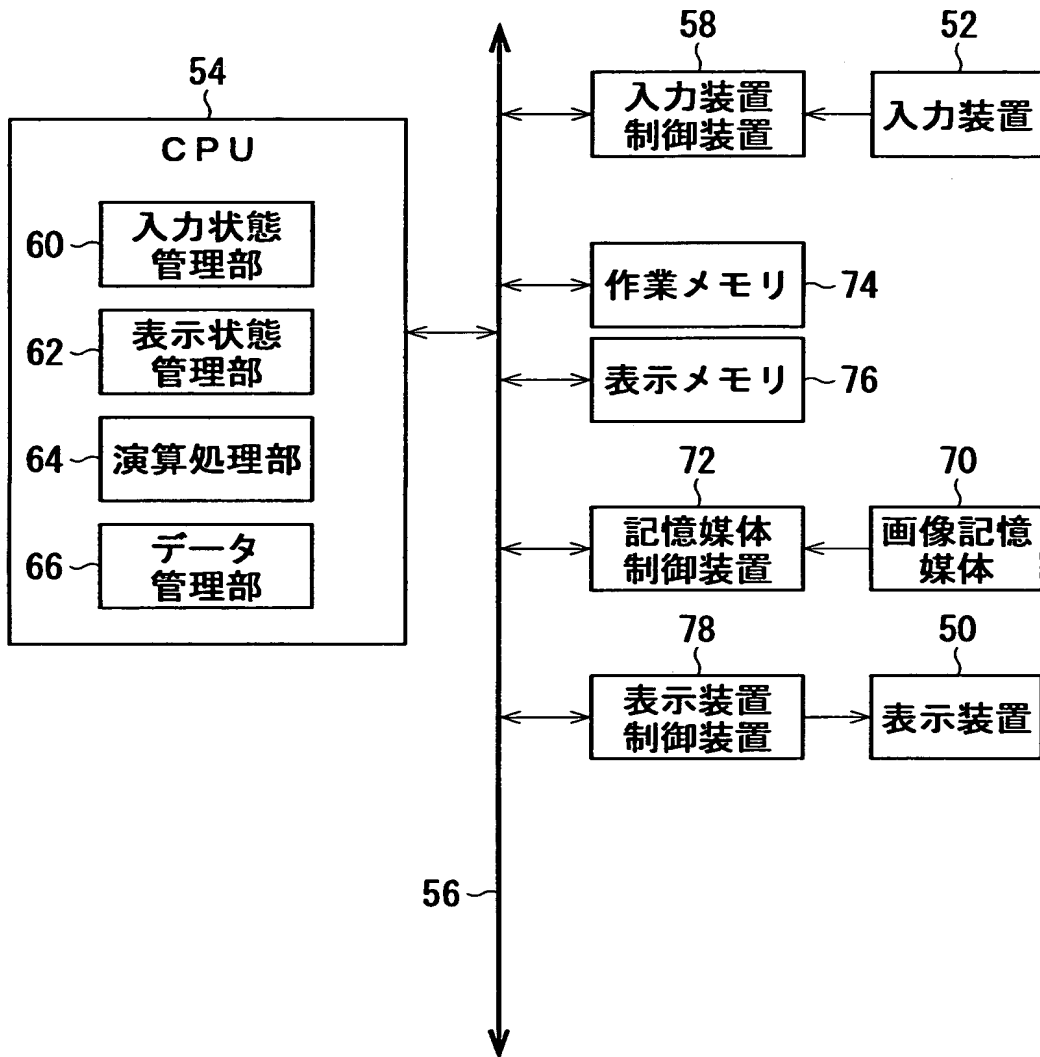
【図 3】



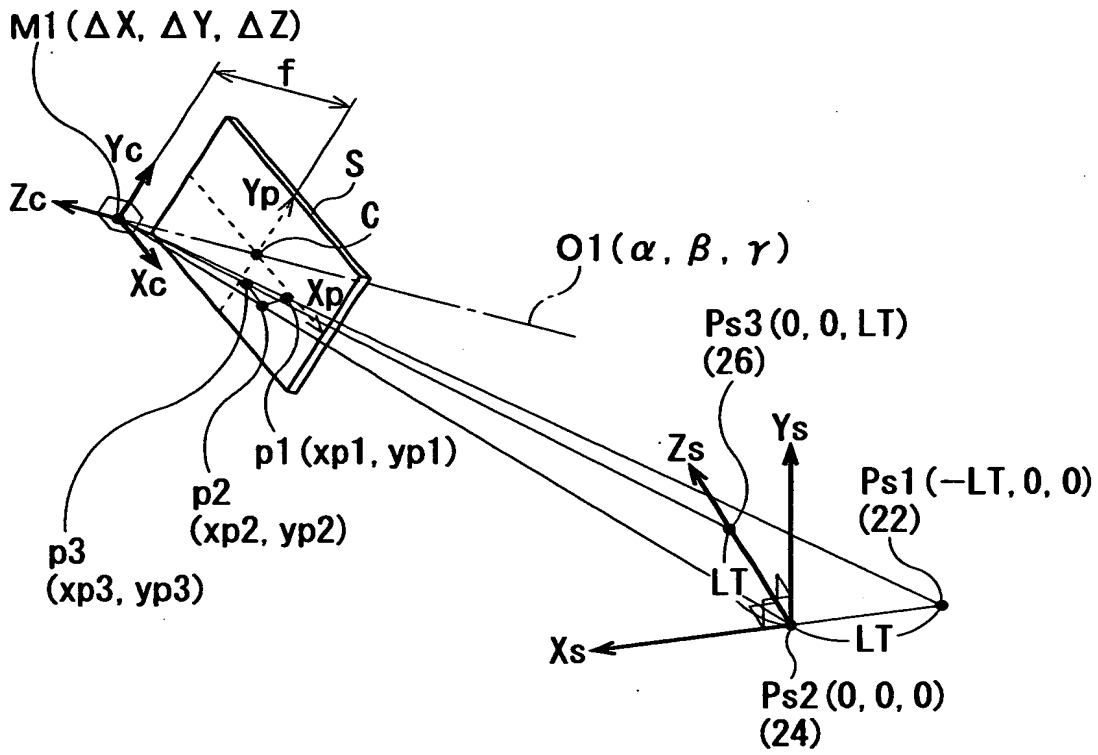
【図 4】



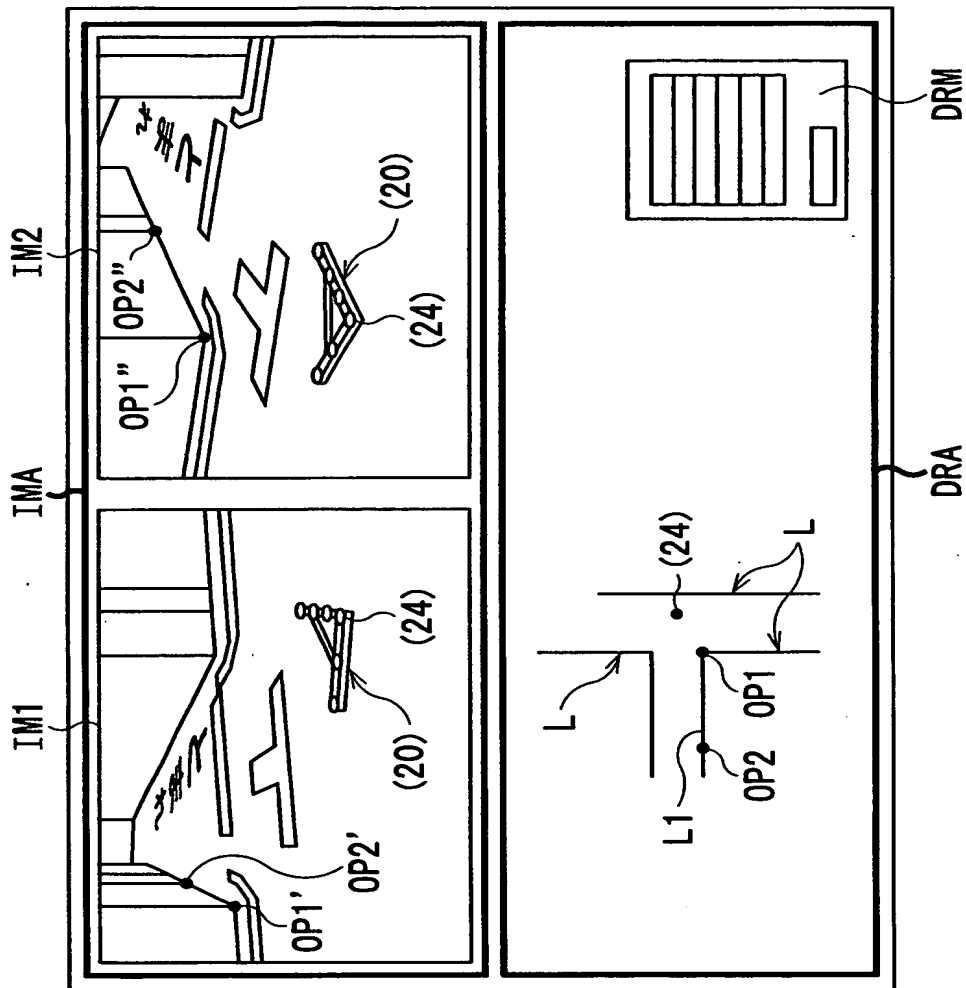
【図 5】



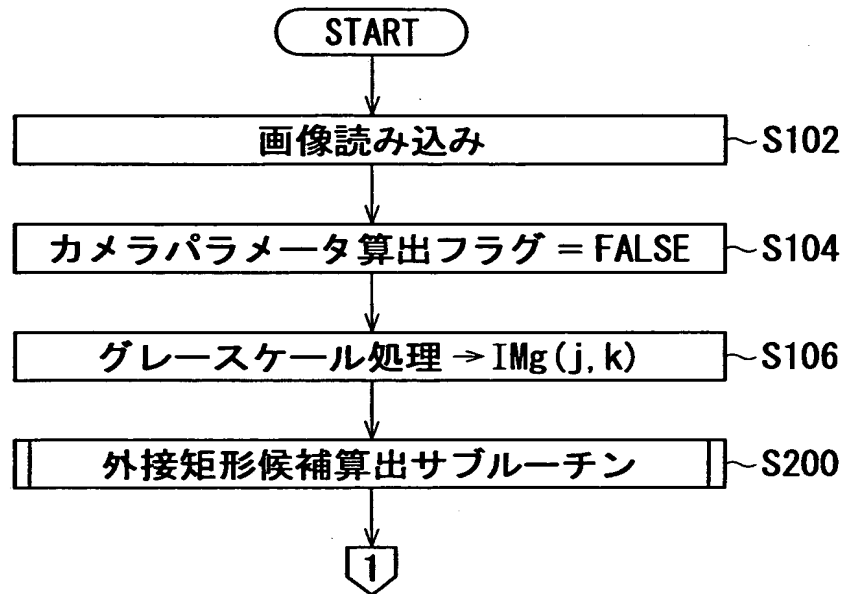
【図 6】



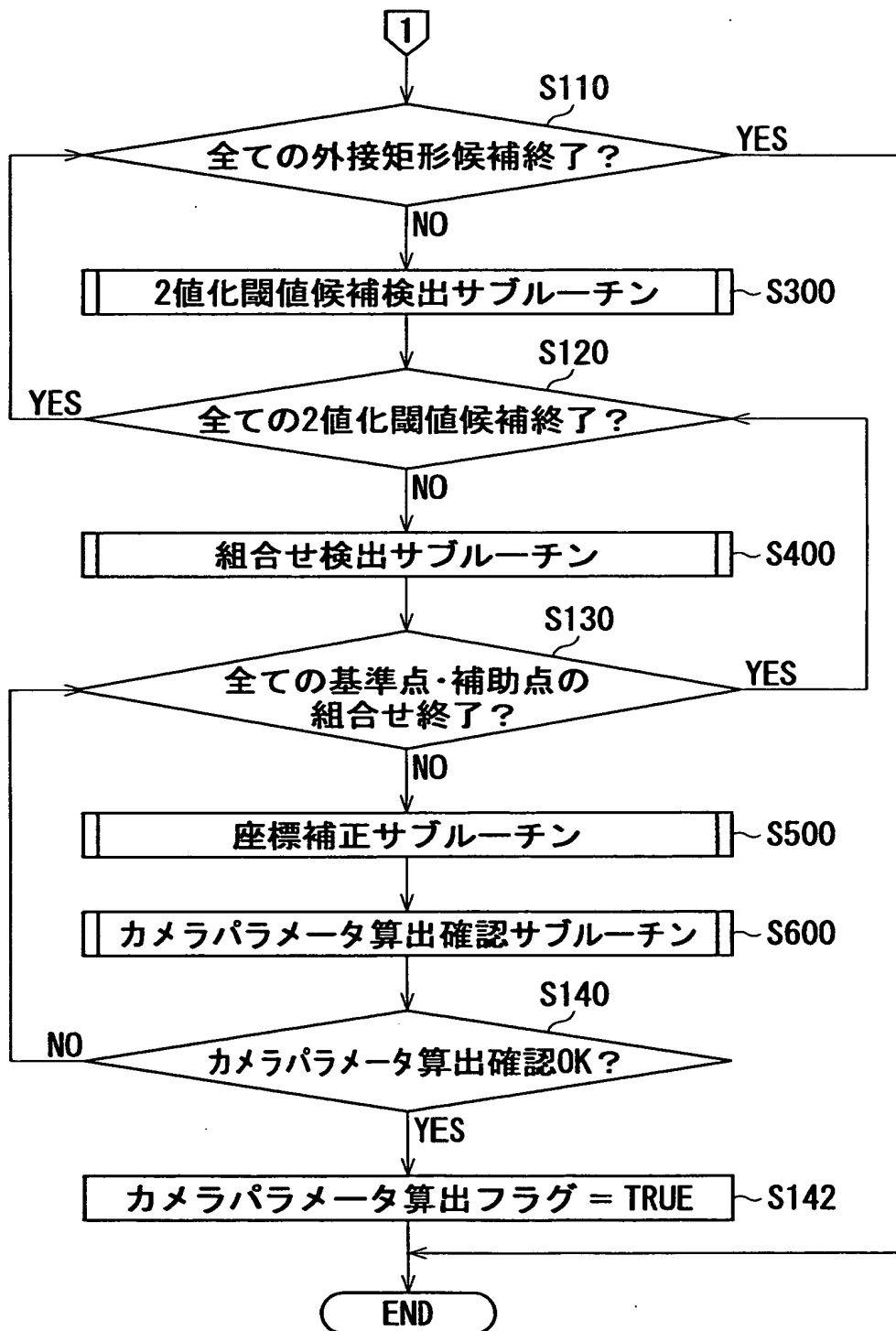
【図 7】



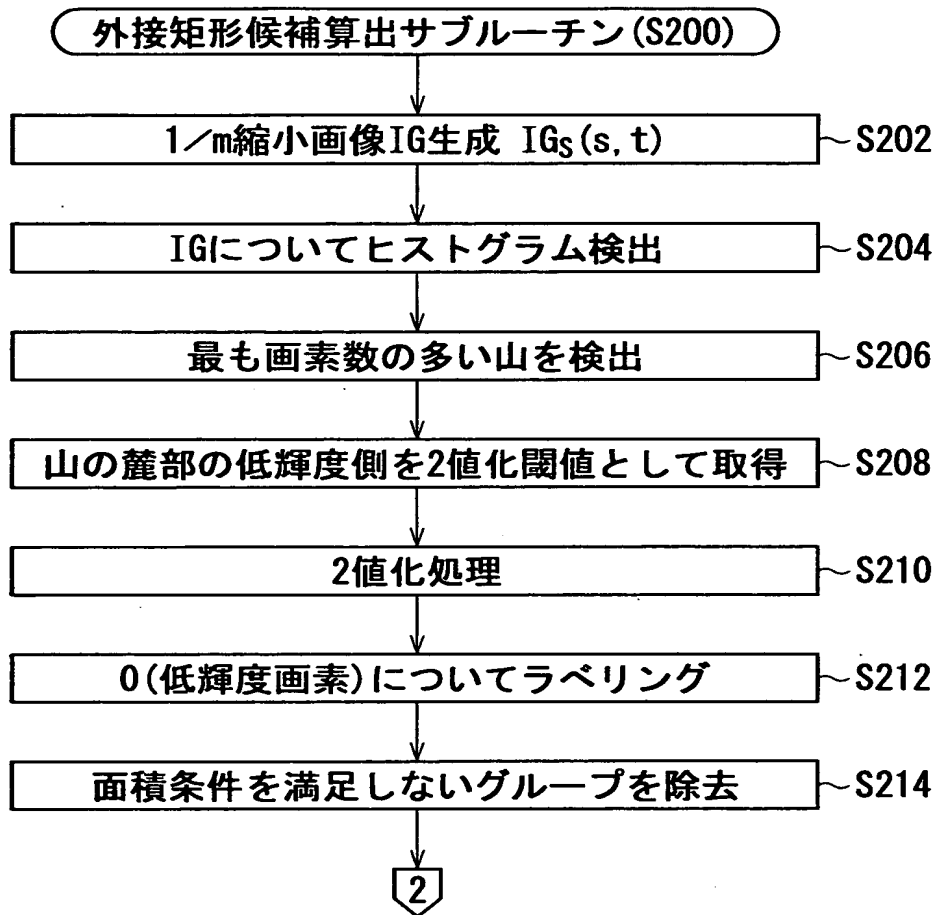
【図 8】



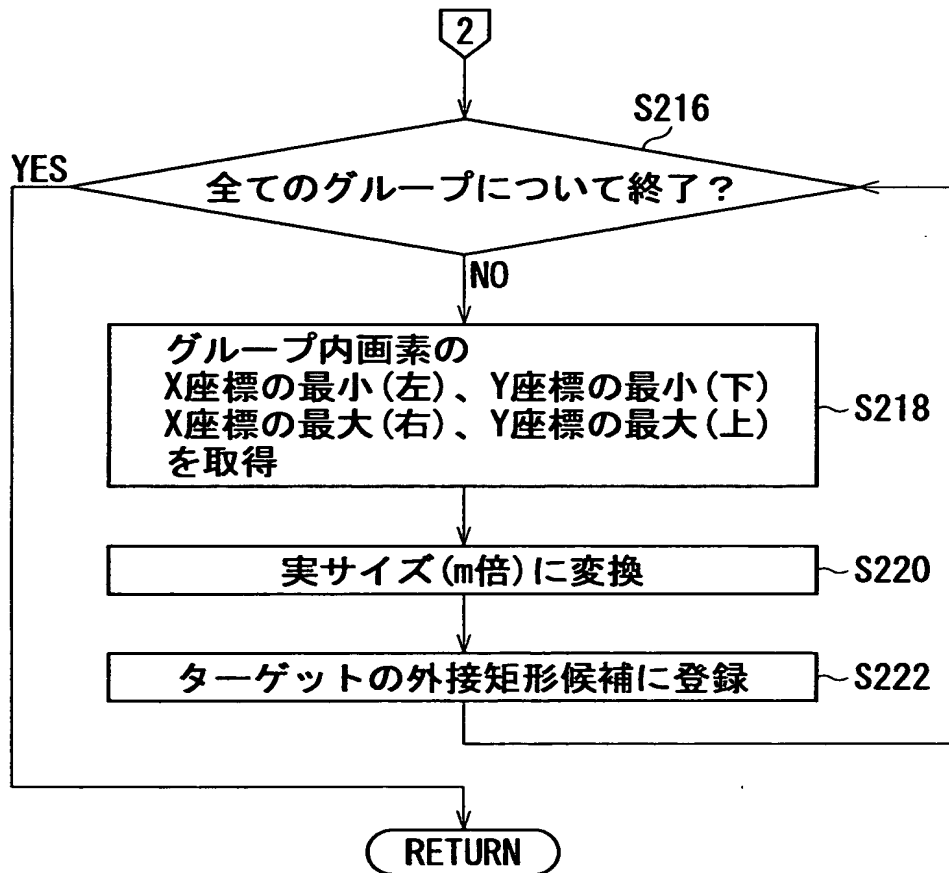
【図 9】



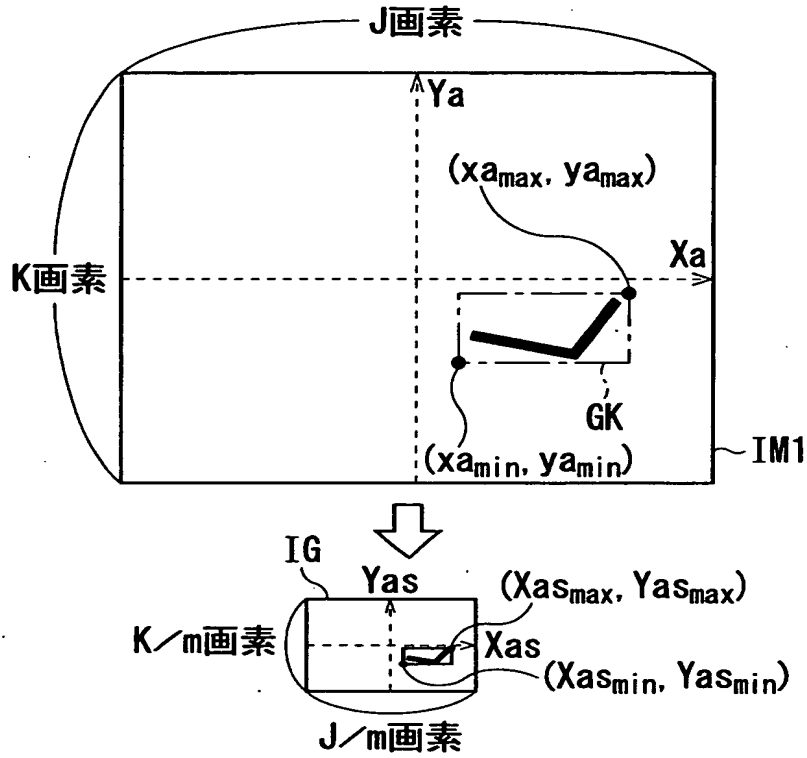
【図 1 0】



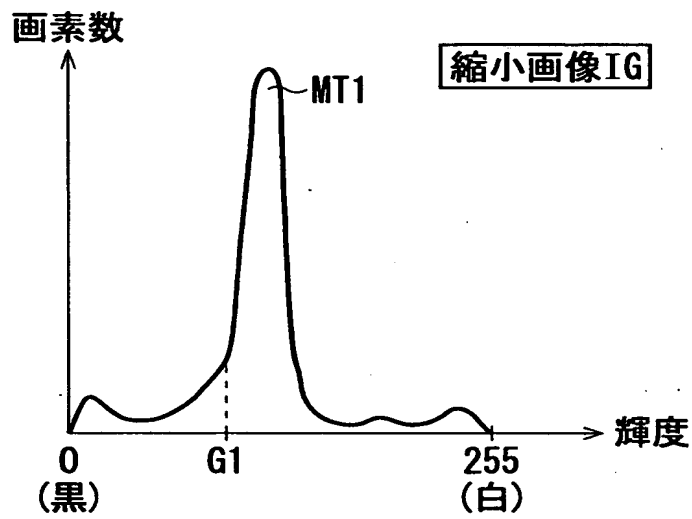
【図 1 1】



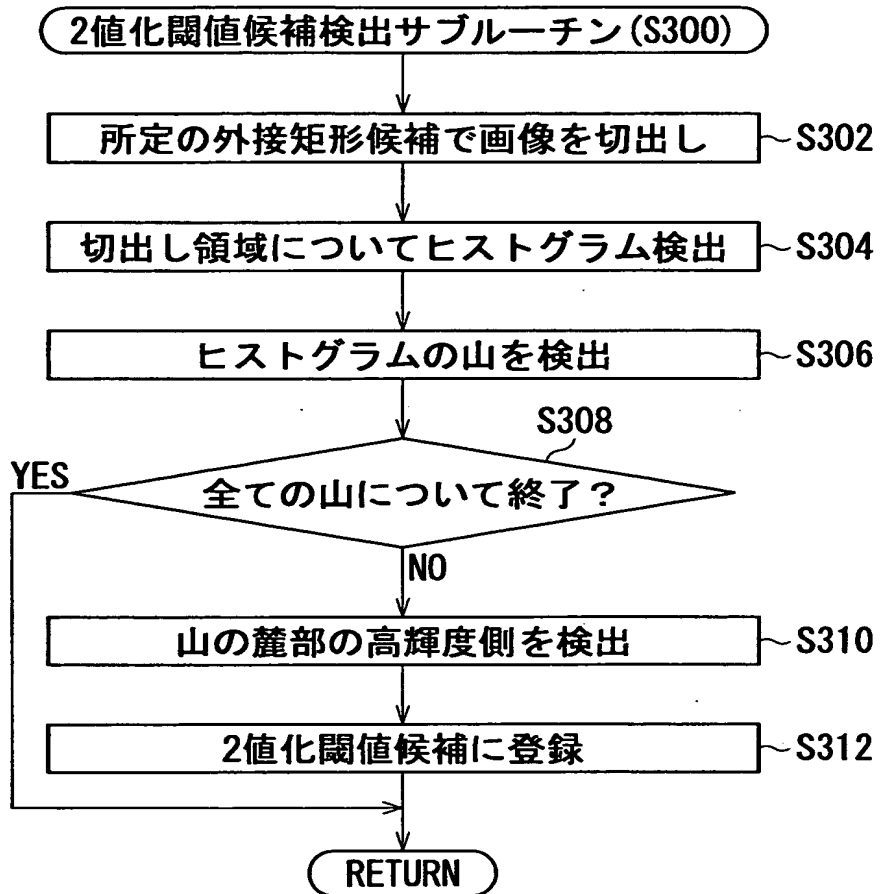
【図 1 2】



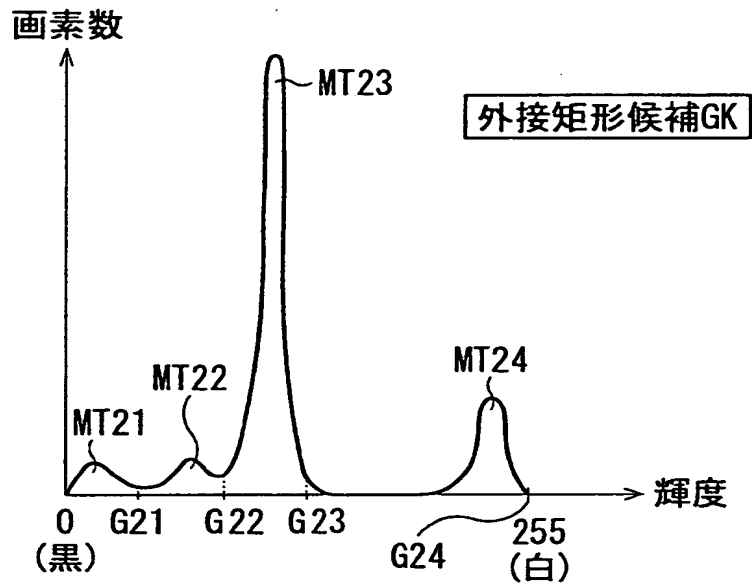
【図 1 3】



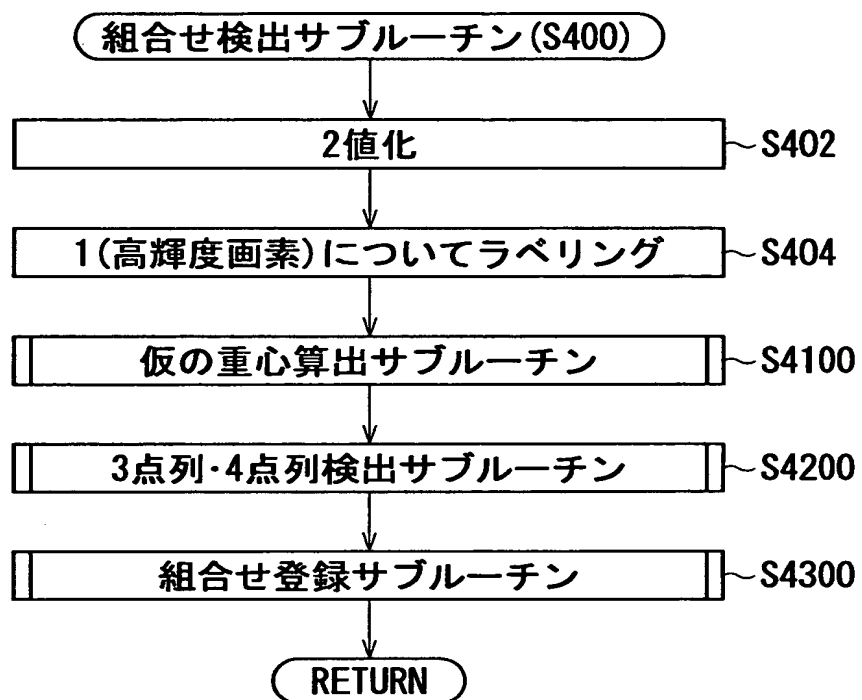
【図 1 4】



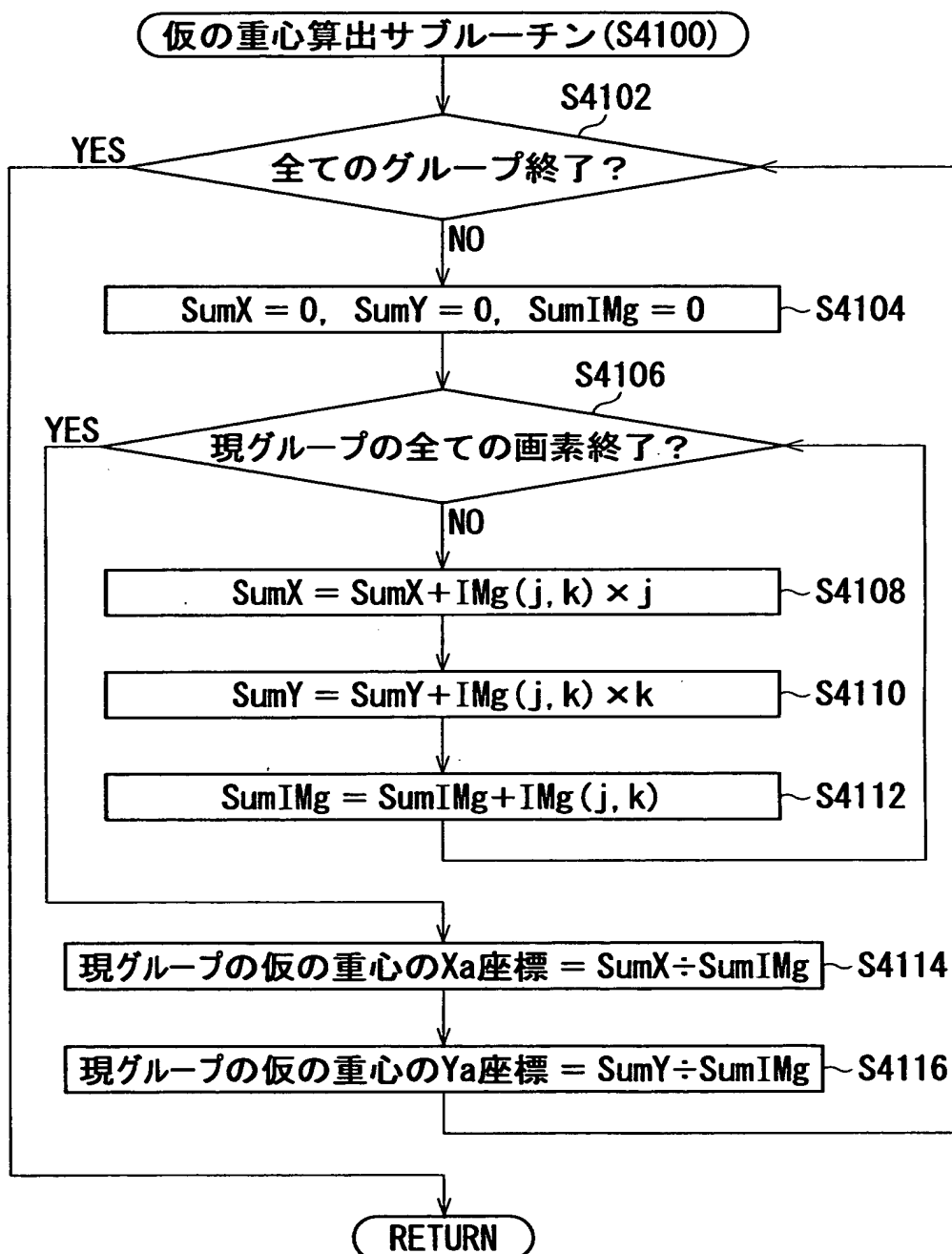
【図 1 5】



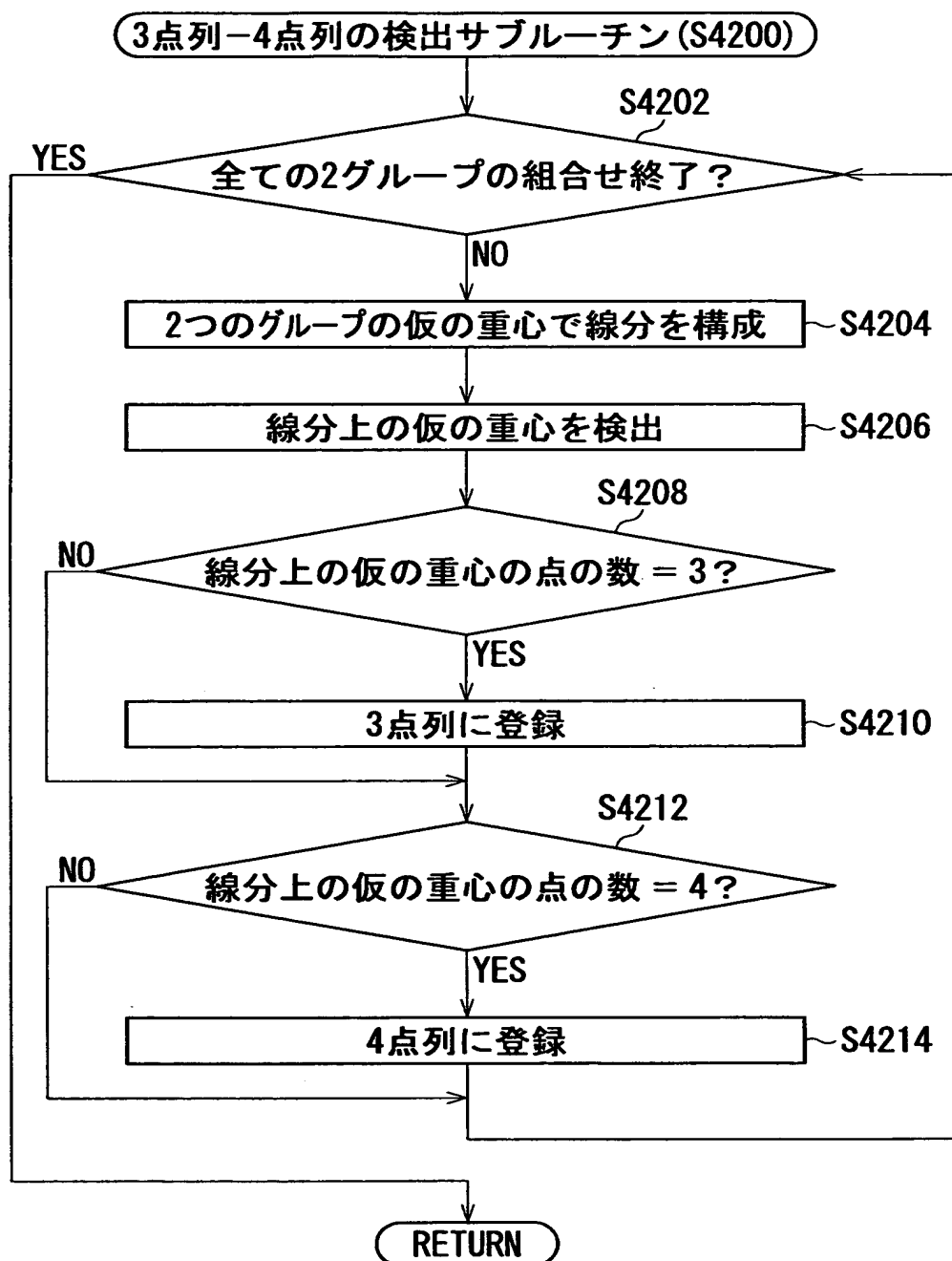
【図 1 6】



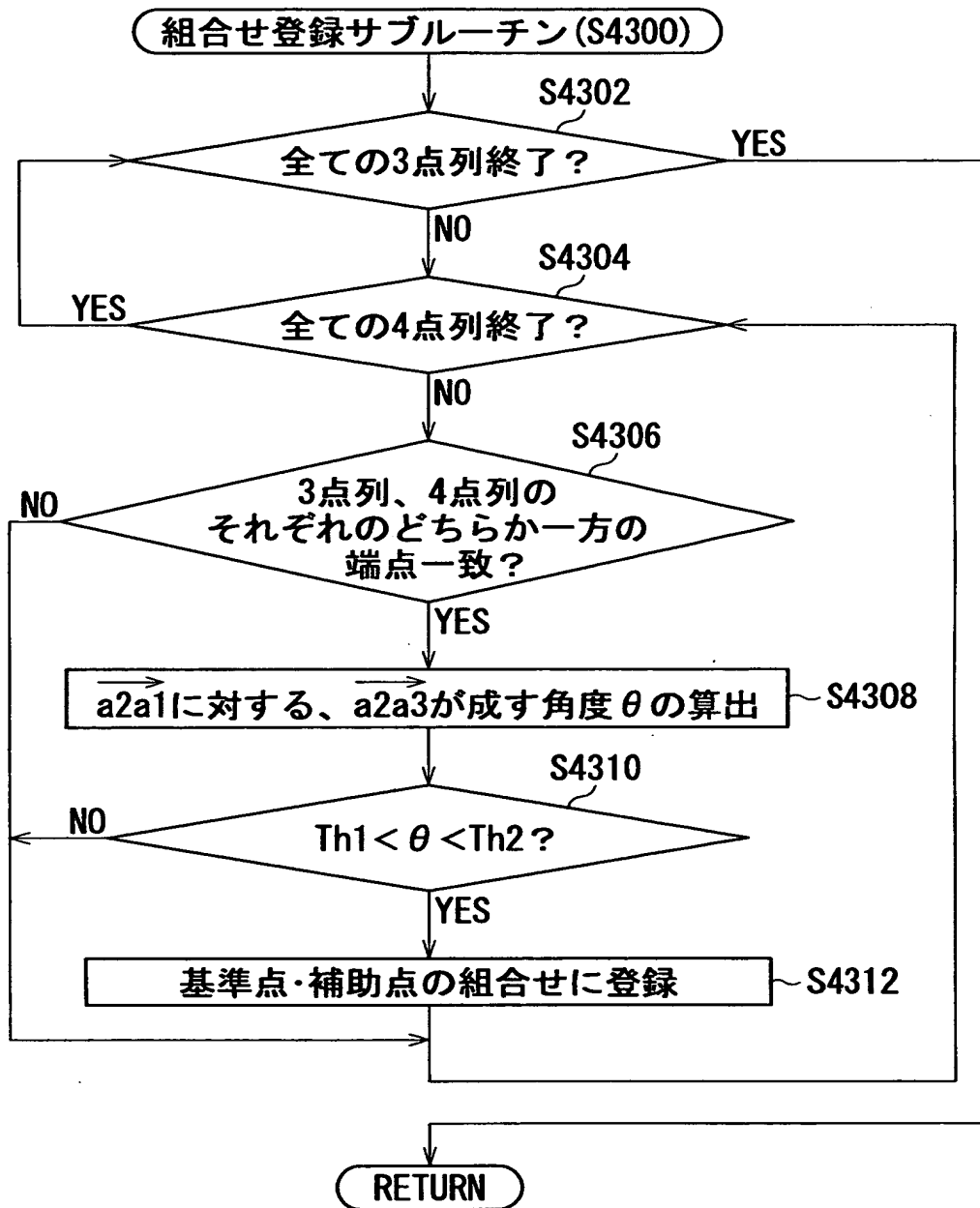
【図 1 7】



【図 18】



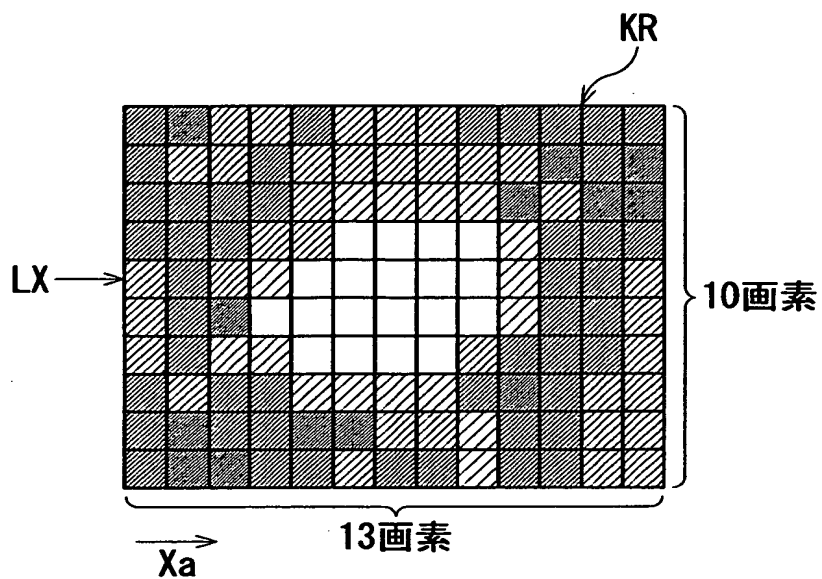
【図 1 9】



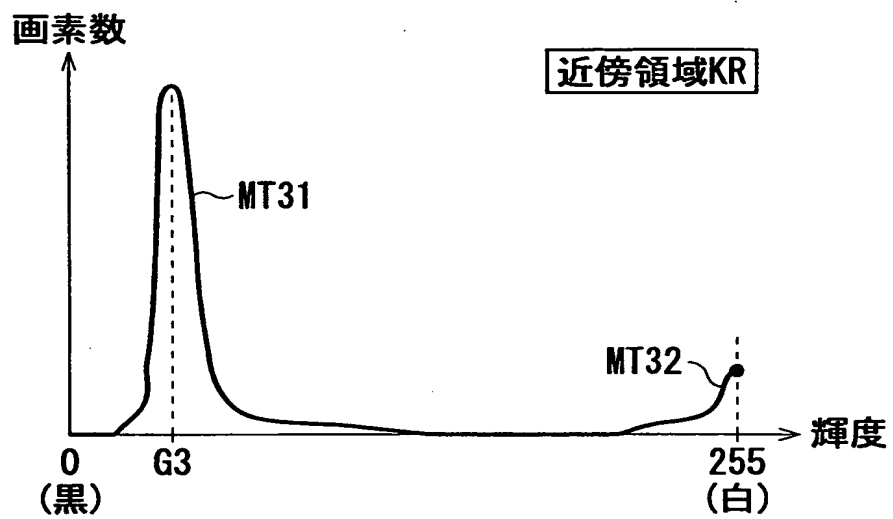
【図 2 0】



【図 2 1】



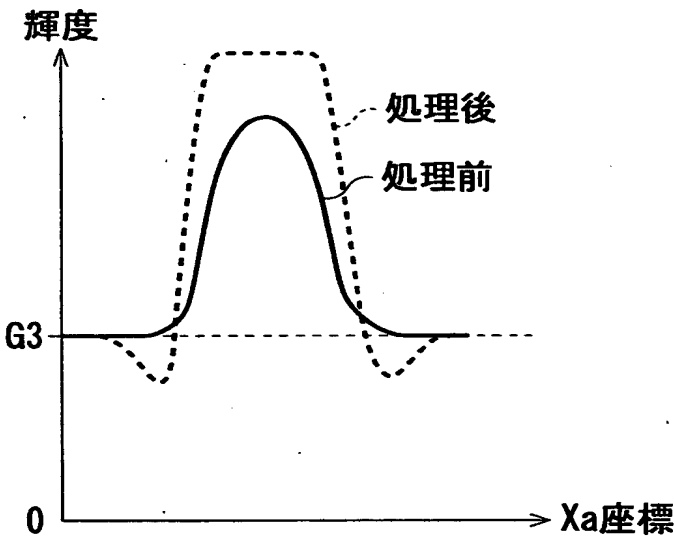
【図 2 2】



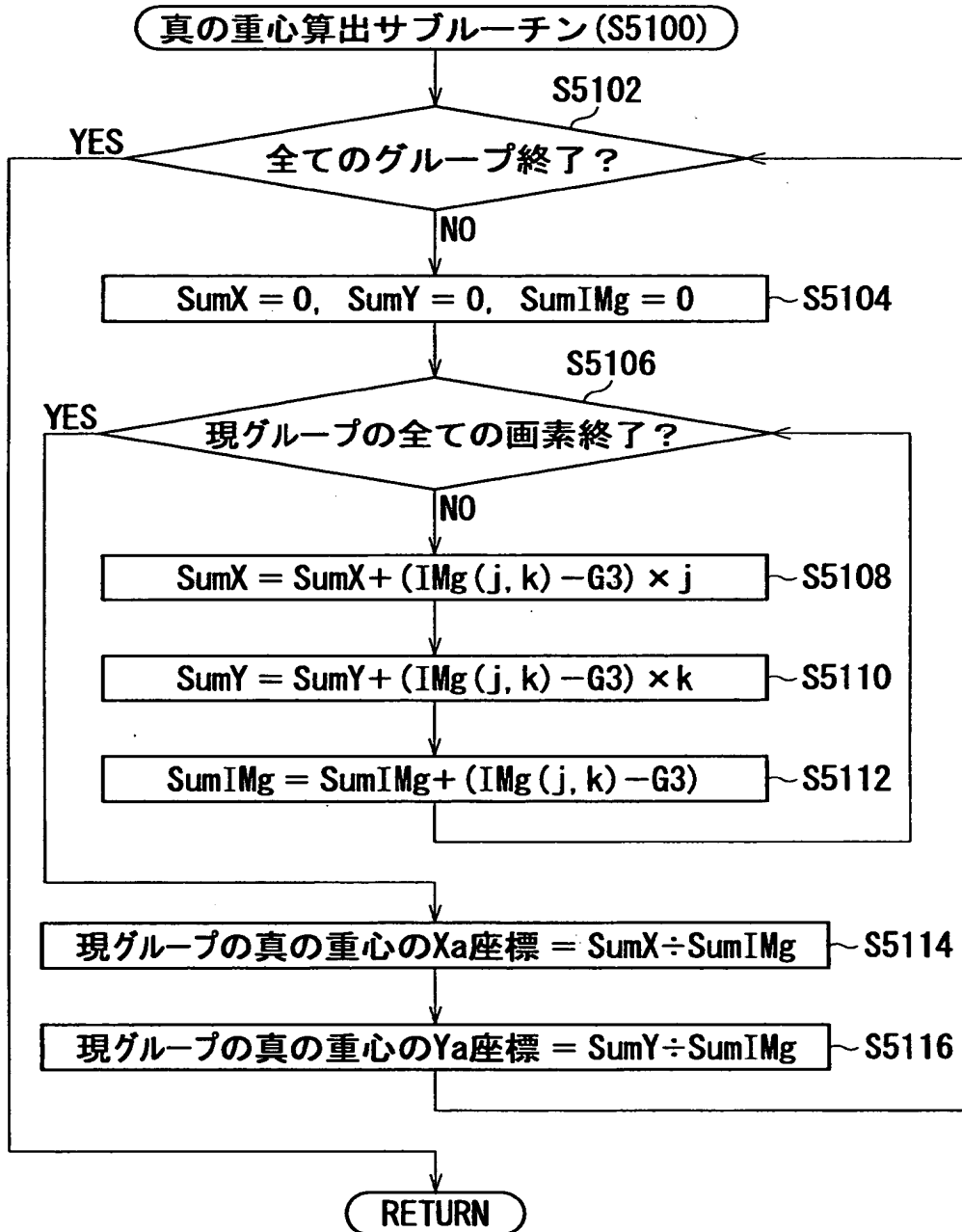
【図 2 3】

-1	-1	-1
-1	9	-1
-1	-1	-1

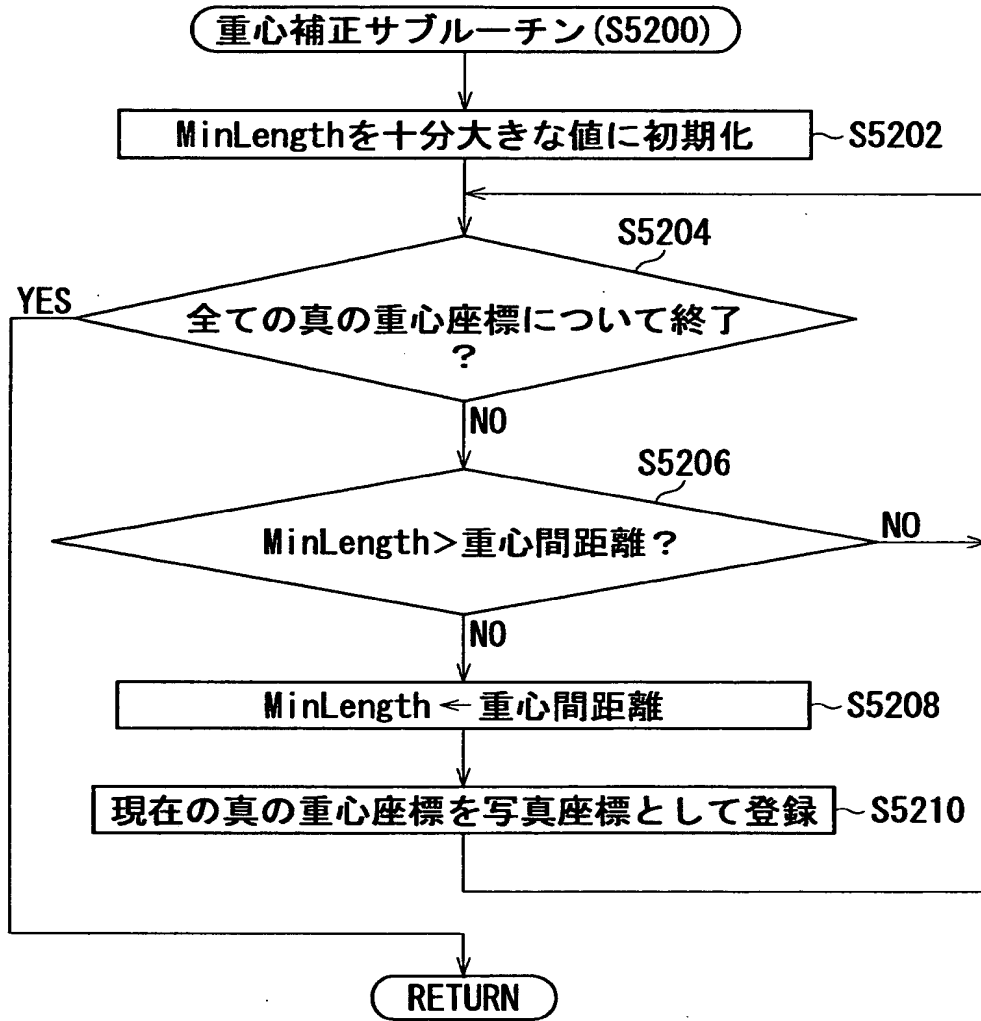
【図 2 4】



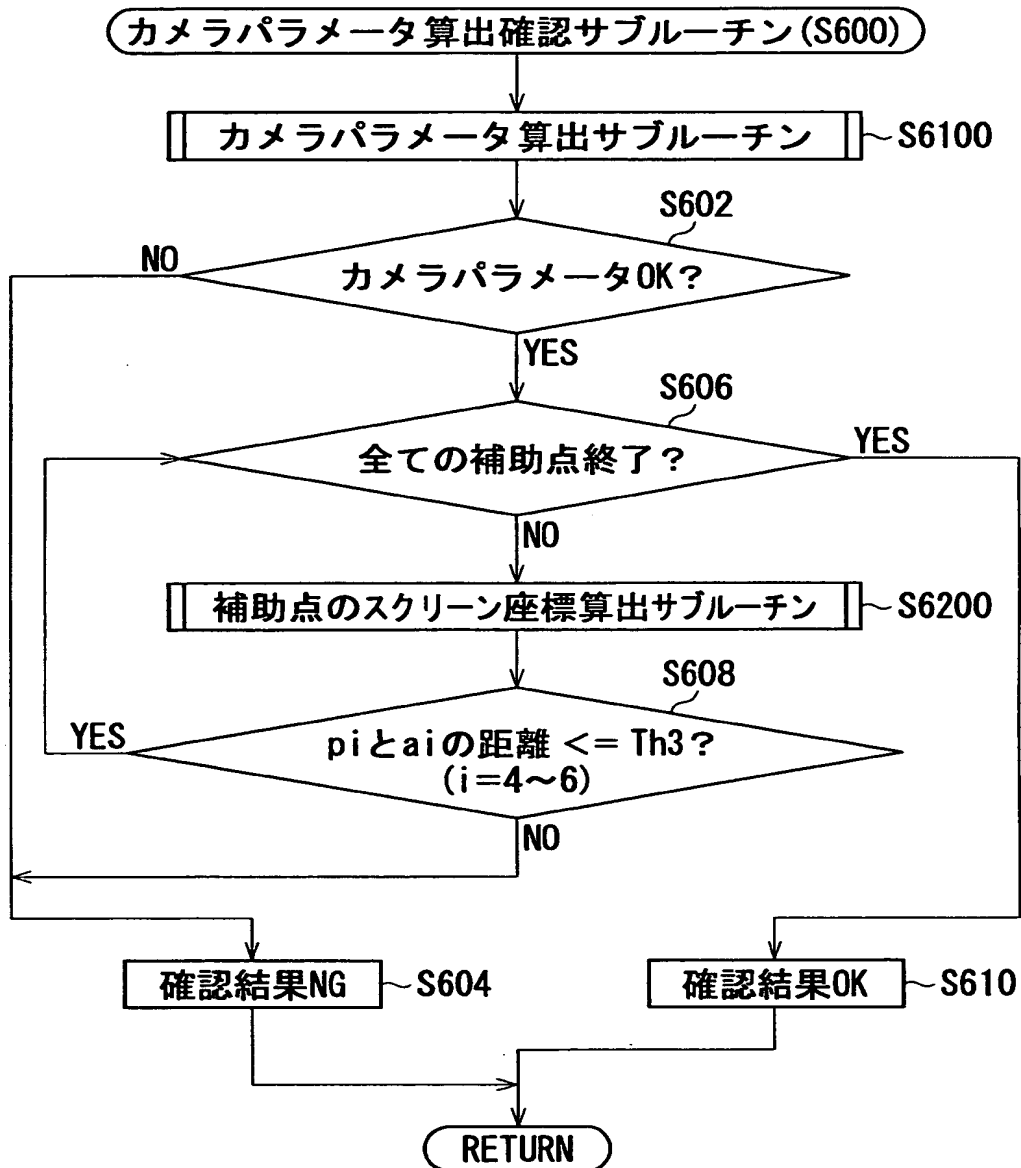
【図 2 5】



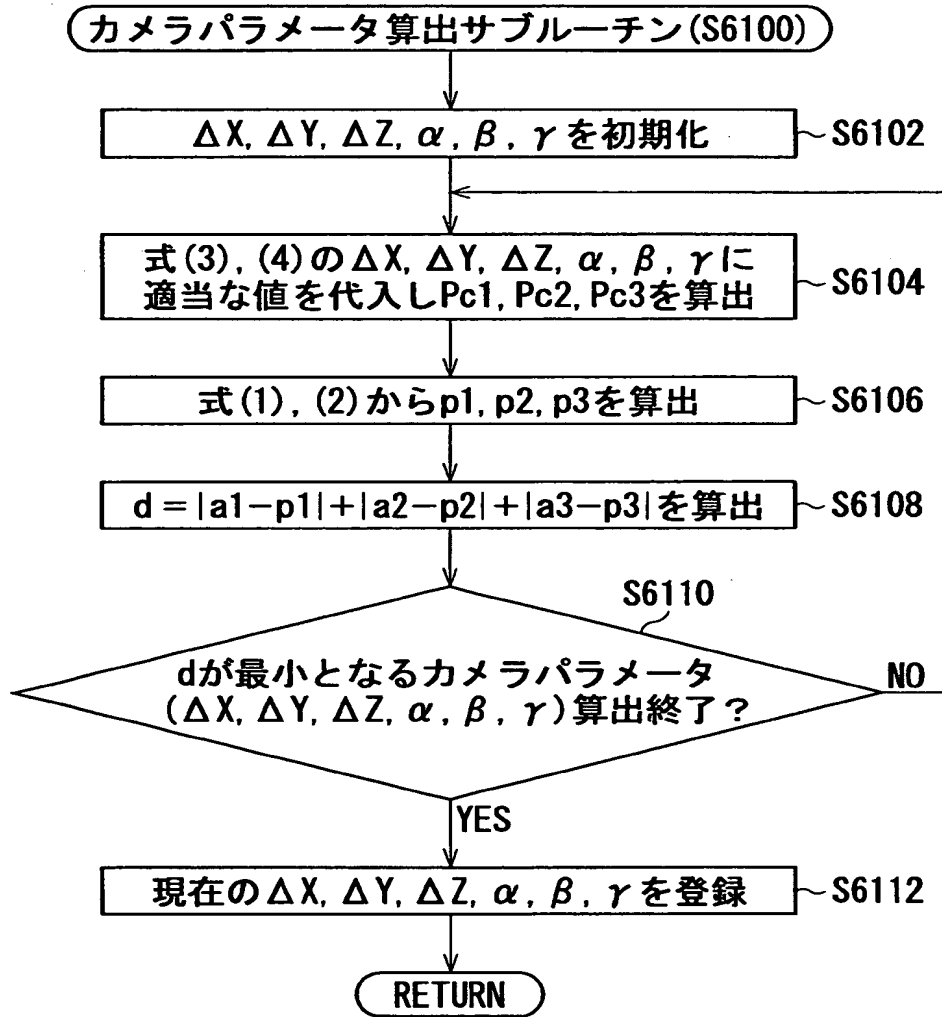
【図 2 6】



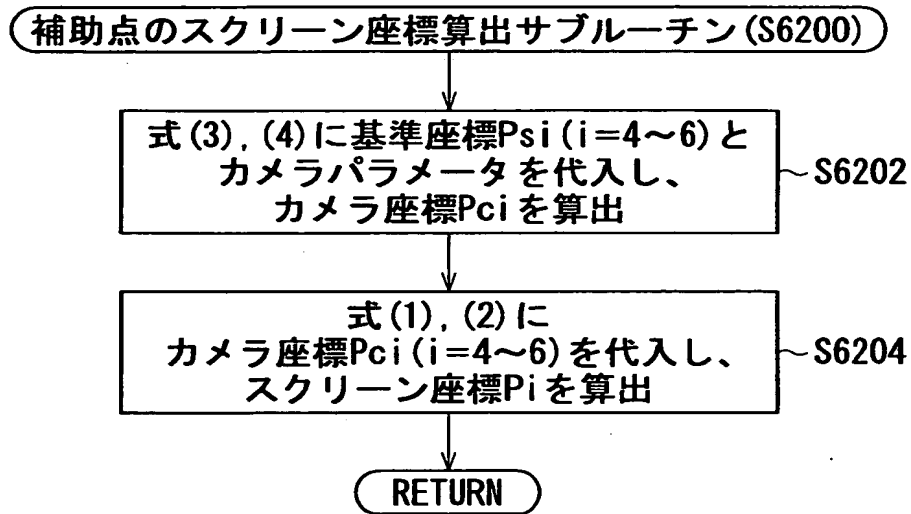
【図 2 7】



【図 2 8】



【図 2 9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 基準点の高精度な写真座標を容易に求め、カメラパラメータおよび測量図の精度を向上させるとともに測量作業を簡略化する。

【解決手段】 画像 I M 1 は、 $J \times K$ 画素分の輝度値のデータを有する。画像 I M 1 内に黒色のターゲットを写し込む。ターゲットに白色の基準点 2 2、2 4 および 2 6 と 3 つの白色の補助点を設ける。基準点 2 2、2 4、2 6 および補助点を 2 値化処理等によって自動抽出し、それぞれ重心の座標を算出する。画像 I M に写真座標系 ($X a$, $Y a$) を定義し、基準点 2 2、2 4、2 6 および補助点の写真座標を決定する。基準点 2 2、2 4、2 6 および補助点の写真座標と、ターゲットの寸法形状に基づいて、高精度のカメラパラメータを算出する。

【選択図】 図 2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 0 5 2 7]

1. 変更年月日 1 9 9 0 年 8 月 1 0 日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都板橋区前野町 2 丁目 3 6 番 9 号

氏 名 旭光学工業株式会社